

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»  
МЕХАНІКО-МАШИНОБУДІВНИЙ ІНСТИТУТ  
КАФЕДРА КОНСТРУЮВАННЯ ВЕРСТАТІВ ТА МАШИН

«На правах рукопису»  
УДК \_\_\_\_\_

До захисту допущено

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ В.Б.Струтинський

(підпис)

(ініціали, прізвище)

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2018 р.

**Магістерська дисертація**  
на здобуття ступеня магістра  
зі спеціальності 133 Галузеве машинобудування

на тему Покращення технологічних властивостей універсально-фрезерного верстата \_\_\_\_\_

Виконав (-ла): студент (-ка) \_\_\_\_\_ ІІ курсу , групи МВ – 71мп

Пушкарук Христина Валеріївна

\_\_\_\_\_ (прізвище ім'я по батькові)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Науковий керівник \_\_\_\_\_ Доцент, к.т.н. Ковальов В.А.

\_\_\_\_\_ (посада, науковий ступінь та вчене звання, прізвище, ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Консультант з розділу \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ (посада, науковий ступінь та вчене звання, прізвище, ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Рецензент:

\_\_\_\_\_ (посада, наукова ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації  
немає запозичень з праць інших авторів без  
відповідних посилань.

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Київ – 2018

**Національний технічний університет України**  
**“Київський політехнічний інститут**  
**імені Ігоря Сікорського”**  
**Механіко-машинобудівний інститут**  
**Кафедра конструювання верстатів та машин**

Рівень вищої освіти другий (магістерський) за освітньо-професійною  
програмою

Спеціальність 133 Галузеве машинобудування  
Спеціалізація «Технології комп'ютерного проектування верстатів,  
роботів і машин»

**ЗАТВЕРДЖУЮ**  
Завідувач кафедри  
В.Б.Струтинський  
(підпис) (ініціали, прізвище)  
“ ” 2018 р.

**З А В Д А Н Н Я**  
**НА МАГІСТЕРСЬКУ ДИСЕРТАЦІЮ СТУДЕНТУ**

Пушкарук Христині Валеріївні

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації Покращення технологічних властивостей універсально-фрезерного верстата

науковий керівник дисертації к.т.н. Ковальов В.А.

( прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від **“15” листопада 2018 року № 934-с**

2. Термін подання студентом дисертації 17 грудня 2018 \_\_\_\_\_

3. Об'єкт дослідження Універсально-фрезерний верстат \_\_\_\_\_

4. Вихідні дані Технічна характеристика верстата

5. Перелік завдань, які потрібно розробити Технічний опис, конструкторська частина, розрахунок шпиндельного вузла, інструмент, призначення

пристосувань, маніпуляційні пристрої роботів, моделювання алгоритму обробки в програмному забезпеченні Heidenhain

6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) загальний вигляд вертата, кінематична схема верстата, коробка швидкостей, шпиндель горизонтальний, пристосування для фрезерування, механізм ротації з захватним пристосуванням, кінематична схема ПР, 3D модель шпинделя, алгоритм обробки в програмі Heidenhain

7. Орієнтовний перелік публікацій \_\_\_\_\_

8. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

9. Дата видачі завдання 15 вересня 2018

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
<b>1</b>	Загальний вигляд вертата	<b>Вересень</b>	
<b>2</b>	Кінематична схема верстата	<b>Вересень</b>	
<b>3</b>	Коробка швидкостей	<b>Вересень</b>	
<b>4</b>	Шпиндель горизонтальний	<b>Жовтень</b>	
<b>5</b>	Пристосування для фрезерування	<b>Жовтень</b>	
<b>6</b>	Механізм ротації з захватним пристосуванням	<b>Листопад</b>	
<b>7</b>	Кінематична схема ПР	<b>Листопад</b>	
<b>8</b>	Алгоритм обробки в програмі Heidenhain	<b>Грудень</b>	

Студент \_\_\_\_\_ **Пушкарук Х.В.**  
( підпис ) (прізвище та ініціали)

Науковий керівник дисертації Ковальов В.А.

## Анотація

Темою магістерської дисертації є покращення технологічних властивостей універсально-фрезерного верстата.

В даній роботі була поставлена задача розширити технологічні можливості верстата шляхом конструювання нової компоновки шпиндельного вузла, де в передній опорі встановлено радіально-упорні підшипники у виконанні дуплекс тандем, які повинні сприймати радіальне навантаження, що забезпечує зменшення втрат на холості ходи та зменшення теплових деформацій. Це дало змогу збільшити швидкохідність шпинделя, а також оброблювати на верстаті більшу гаму матеріалів. В задній опорі встановлено радіально-упорні підшипники виконанні дуплекс тандем, що дало змогу у верстаті зменшити похибки, тому, як наслідок, можливо оброблювати на деталі з високим класом точності.

Верстат оснащений додатковими пристосуваннями для закріплення деталей, а саме пристосуваннями для закріплення деталі під час фрезерування, для значного удосконалення систем фрезерного верстату, підвищення функціональних можливостей, підвищення продуктивності та точності, збільшення кількості модифікацій, покращення економічних показників.

Також верстатний комплекс оснащений маніпулятором, що розширює технологічні можливості верстата, забезпечує швидку установку деталі на стіл верстата, а також одночасну обробку декількох деталей, збільшує число одночасно працюючих інструментів, підвищує режими різання, що впливає на загальну продуктивність праці.

Статичний розрахунок шпиндельного вузла показав в цілому задовільні показники працездатності. Власна частота шпинделя  $\omega_c$  є задовільною, що видно з перевірки.

## Ключові слова (словосполучення)

Машинобудування, універсально-фрезерний верстат, пристосування для закріплення деталі, маніпулятор, статичний розрахунок, режими різання, працездатність, швидкохідність шпинделя.

## Аннотация

Темой магистерской диссертации является улучшение технологических свойств универсально-фрезерного станка.

В данной работе была поставлена задача расширить технологические возможности станка путем конструирования новой компоновки шпиндельного узла, где в передней опоре установлен радиально-упорные подшипники в исполнении дуплекс тандем, которые должны воспринимать радиальную нагрузку, что обеспечивает уменьшение потерь на холостые ходы и уменьшения тепловых деформаций. Это позволило увеличить быстроходность шпинделя, а также обрабатывать на станке большую гамму материалов. В задней опоре установлен радиально-упорные подшипники исполнения дуплекс тандем, что позволило в станке уменьшить погрешности, поэтому, как следствие, возможно обрабатывать на детали с высоким классом точности.

Станок оснащен дополнительными приспособлениями для закрепления деталей, а именно приспособлениями для закрепления детали при фрезеровании, для значительного усовершенствования систем фрезерного станка, повышение функциональных возможностей, повышение производительности и точности, увеличение количества модификаций, улучшение экономических показателей.

Также станочный комплекс оснащен манипулятором, что расширяет технологические возможности станка, обеспечивает быструю установку детали на стол станка, а также одновременную обработку нескольких деталей, увеличивает число одновременно работающих инструментов, повышает режимы резания, влияет на общую производительность труда.

Статический расчет шпиндельного узла показал в целом удовлетворительные показатели работоспособности. Собственная частота шпинделя  $\omega_C$  является удовлетворительной, что видно по проверке.

## Ключевые слова (словосочетания)

Машиностроение, универсально-фрезерный станок, приспособления для закрепления детали, манипулятор, статический расчет, режимы резания, работоспособность, быстроходность шпинделя.

## Annotation

The theme of the master's thesis is to improve the technological properties of a universal milling machine.

In this paper, the task was to expand the technological capabilities of the machine by constructing a new arrangement of the spindle assembly, where the radial thrust bearings in the duplex tandem were installed in the forward bearing, which should accept the radial load, which reduces losses on idle strokes and reduces thermal deformations. This made it possible to increase the speed of the spindle, as well as to process a larger range of materials on the machine. The rear support is equipped with a tandem duplex ball bearings, which made it possible to reduce errors in the machine, so it is possible to process parts with a high accuracy class.

The machine is equipped with additional fastening devices parts, namely, attachments for fastening parts during milling, for significant improvement of milling system systems, enhancement of functional capabilities, increase of productivity and accuracy, increase of modifications, improvement of economic indicators.

Also, the machine-tool complex is equipped with a manipulator that extends the technological capabilities of the machine, provides quick installation of parts on the machine's table, as well as simultaneous processing of several parts, increases the number of simultaneously working tools, increases cutting modes that affect overall productivity.

The static calculation of the spindle node was generally satisfactory performance indicators. The proper frequency of the spindle  $\omega_C$  is satisfactory, as can be seen from the check.

## Keywords (phrases)

Machine-building, universal milling machine, fitting for fastening parts, manipulator, static calculation, cutting modes, working capacity, speed of a spindle.

## Зміст

Вступ.....	3
1. Технічний Опис.....	5
1.1. Опис базового верстата та галузі його використання.....	5
1.2. Загальна компоновка верстата.....	14
1.3. Схема кінематична.....	15
1.4. Складові верстата та їх опис.....	18
1.5. Знімні вузли й пристосування.....	26
2. Конструкторська частина.....	29
2.1. Визначення технічних характеристик модернізованого верстату.....	29
2.2. Розрахунок діапазонів фрезерування.....	29
2.3. Кінематичний розрахунок коробки швидкостей.....	33
3. Розрахунок шпиндельного вузла.....	36
3.1. Основні вимоги пропоновані до шпинделів.....	36
3.2. Розрахунок шпиндельного вузла.....	37
3.2.1. Розрахунок жорсткості опор.....	39
3.2.2. Визначення радіального переміщення переднього кінця.....	42
3.2.3. Визначення радіального биття передньої та задньої опори.....	43
3.2.4. Визначення демпфіруючих властивостей ШВ.....	43
3.2.5. Визначення власної частоти обертання шпинделя.....	44
3.3. Розрахунок деяких елементів ПГР.....	45
3.3.1. Розрахунок зубчастих коліс.....	45
3.3.2. Розрахунок підшипників.....	47
4. Інструмент .....	50
4.1. Види фрез.....	50
4.1.1. Циліндричні фрези.....	51
4.1.2. Спиральні фрези.....	54
4.1.3. Торцеві фрези.....	55
4.1.4. Дискові фрези.....	57

4.1.5. Фрези для підрізки торців.....	58
4.1.6. Фасонні фрези.....	58
4.2. Оснащення для кріплення інструменту.....	59
5. Призначення пристосувань .....	61
5.1. Класифікація пристроїв.....	63
5.2. Пристосування для фрезерних верстатів.....	65
5.3. Етапи проектування верстатного пристосування.....	66
6. Маніпуляційні пристрої роботів.....	70
6.1. Робочі органи маніпуляторів.....	74
7. Моделювання алгоритму обробки деталі в програмному забезпеченні Heidenhain.....	80
Висновки.....	84
Література.....	85



## Вступ

Фрезерні верстати, зокрема фрезерні інструментальні широко-універсальні, традиційно є одним із розповсюджених видів металооброблювального обладнання, що пояснюється великою кількістю деталей, які потребують фрезерної обробки. Це такі деталі, як корпуси, плити, важелі, тощо.

Сучасні фрезерні верстати завдяки оснащенню системами ЧПК дозволяють значно збільшити продуктивність завдяки використанню спеціальних пристосувань. Наприклад, різного типу головного та комбінованого інструменту, значно розширюються їх технологічні можливості.

Висока жорсткість технологічної системи верстата, сучасні конструкції механізмів, зупинку супортів при досягненні кінцевих положень, дозволяє гарантувати стабільність діаметральних та осьових розмірів оброблюваних деталей.

Робота на консольно-фрезерних верстатах не потребує високої кваліфікації, а програмне керування створює гарні умови для багатOVERстатного обслуговування.

Фрезерні верстати часом, як оброблювальні центри випускають провідні верстатобудівні фірми. Аналізуючи розвиток консольно-фрезерних верстатів, в першу чергу впливає значне удосконалення їх систем керування, підвищення продуктивності та точності, збільшення кількості модифікацій, покращення економічних показників та архітектури.

Подальшими перспективними напрямками удосконалення є:

- створення верстатів з компонуванням, що відповідає потребам автоматичної обробки;
- оснащення виробничими роботами;

- створення модулів, оснащені автоматичними системами вимірювання та корекції розмірів оброблюваних деталей, автоматичною діагностикою та зміною інструмента, що вийшов з ладу.

Об'єктом дипломного проекту є консольно-фрезерний верстат 6720ПФ. Необхідність розширення діапазону регулювання зумовлюється потребою в обробці деталей виготовлених з легких металів (наприклад, сплавів алюмінію) та забезпечення можливостей використання сучасного високошвидкісного інструменту. Метою модернізації є розширення діапазону регулювання частот шпинделя з використанням безступінчастого регулювання приводу головного руху верстата в заданому діапазоні частот обертання.

Основними перевагами приводів з безступінчастим регулюванням швидкості є підвищення продуктивності обробки за рахунок точної наладки оптимальної по режимам різання швидкості, можливість плавної зміни швидкості під час обробки. Для регулювання безступінчастого швидкості використовується двигун постійного струму з тиристорним керуванням.

Для досягнення поставлених задач необхідно виконати наступне

1. Обрати двигун постійного струму та виконати кінематичний розрахунок приводу головного руху;
2. Обґрунтувати компоновку опор Ш.В. та здійснити статичний розрахунок модернізованої конструкції;
3. Розрахувати необхідну потужність та обрати двигун приводу подачі.

## **1. Технічний опис**

### **1.1. Опис базового верстата та галузі його використання**

Верстат фрезерний інструментальний широко-універсальний підвищеної точності мод. 6720ПФ1 (Рис. 1) призначений для виконання різноманітних робіт у різних площинах і під різними кутами нахилу в широкому діапазоні режимів різання.

Наявність, великої кількості приладдя до верстата робить його зручним для роботи в інструментальних цехах машинобудівних заводів при виготовленні пристосувань, інструмента, рельєфних штампів і інших виробів.

Верстат постачаний пристроєм цифрової індикації типу Ф5290 призначеним для відліку пересування робочих органів верстата.

Оброблювана деталь може бути встановлена на основному столі з вертикальною робочою площиною або на кутовому столі з горизонтальною робочою площиною. Технічна характеристика верстата, широкий ряд частот обертання шпинделя й подач, наявність механічних подач і прискорених переміщень спричиняють економічну обробку різних деталей з різних матеріалів, за рахунок застосування високих режимів різання й зниження допоміжного часу.

До верстата додається зручна для використання інструментальна шафа, а також комплект приладдя і інструментів.

Технічні можливості верстата можуть бути значно розширені застосуванням приладдя і пристосувань, що поставляють по особливому замовленню.

Застосовуючи різцеву, швидкохідну, довбальну головку та комплект допоміжного інструмента, можна виконати на верстаті розточувальні, свердлильні й довбальні роботи.

Кліматичне виконання й категорія розміщення верстатів за ДСТ 15150-69,  
для класу точності П-УХЛ 4.1

Рис. 1. Загальний вигляд верстата

Основні технічні характеристики (Табл.1)

Клас точності верстата 6720ПФ1-П за ГОСТ 8-28Е

Технічні характеристики верстата відповідають таблицям 2.1 і 2.2  
(основні параметри за ГОСТ 23330-85)

Таблиця 1

Найменування параметрів		Дані
1	Найбільші розміри заготовки встановлюваної на горизонтальному столі, мм	
	- довжина	630 <sup>+10</sup>
	- ширина	250 <sup>+10</sup>
	- висота	360 <sup>+10</sup>
2	Найбільші розміри оброблюваної з однієї установки зовнішньої поверхні, мм	
	- довжина	300
	- ширина	230
	- висота	340
3	Найбільша маса встановлюваної заготовки на основний вертикальний стіл, включаючи масу пристосування і закріплюючих елементів, кг	200 <sup>+5</sup>
4	Найбільші діаметри ріжучої частини, що рекомендують для інструменту, встановлюваного на верстат, мм	80
5	Розміри внутрішнього конуса в шпинделях по ГОСТ 15945-82	40

6	Ступінь точності конуса в шпинделях по ГОСТ 19860-74	AT5
7	Розміри робочої поверхні й пазів основного вертикального стола за ГОСТ 23330-85, мм	
	- ширина	200h4
	- довжина	500h4
	Число Т-подібних пазів	3
	Ширина пазів, мм	
	- прямого	14H8
	- інших	14H12
	Відстань між пазами, мм	50
8	Відстань від осі горизонтального шпинделя до робочої поверхні кутового горизонтального стола, мм	
	- найбільше (при ручному переміщенні)	450 <sup>+10</sup>
	- найменше (при верхньому положенні)	100 <sub>-5</sub>
9	Відстань від торця вертикального шпинделя (від шпонок) до робочої поверхні кутового горизонтального стола (піноль всунута, переміщення механічне), мм	
	- найбільше	360
	- найменше	0

10	Найбільша відстань від торця горизонтального шпинделя (без шпонок) до переднього торця підвіски, мм	215 <sup>+5</sup>
11	Найбільше переміщення вертикального стола, мм	
	- повздовжнє	320 <sup>+2</sup>
	- вертикальне	360 <sup>+2</sup>
12	Найбільше поперечне переміщення шпиндельної бабки, мм	250 <sup>+2</sup>
13	Найбільший кут повороту вертикальної головки не менш, град	±90°
14	Межі частот обертання шпинделів, об/хв	
	- горизонтального	40..2000
	- вертикального	40..2000
15	Спосіб регулювання повздовжніх, поперечних і вертикальних подач	безступінчасте
16	Межі повздовжніх, поперечних і вертикальних подач, мм/хв	10..1000
17	Швидкість швидких переміщень, мм/хв	1800
18	Число щаблів частот обертання горизонтального і вертикального шпинделів	18
19	Найбільші зусилля подачі, КН	4 <sup>+5</sup>

20	Габаритні розміри верстатів без окремо розташованих агрегатів, мм	
	- довжина	1350±15
	- ширина	1400±15
	- висота	1845±15
21	Загальна площа верстата в плані (із приставним устаткуванням), м <sup>2</sup>	4
22	Стіл кутовий горизонтальний	
22.1	Розміри робочої поверхні й пазів за ГОСТ 23330-85, мм	
	- ширина	250
	- довжина	630
	Число Т-подібних пазів	4
	Ширина пазів, мм	
	- прямого	14Н8
	- інших	14Н12
22.2	Маса стола, кг	40
23	Головка вертикальна фрезерна	
23.1	Найбільше осьове переміщення вертикального шпинделя, мм	60 <sup>+2</sup>
23.2	Маса, кг	30
24	Стіл кутовий універсальний	-
24.1	Розміри робочої поверхні основного стола за ГОСТ 23330-85, мм	
	- ширина	250
	- довжина	630



24.2	Швидкість швидких переміщень, мм/хв	
	- у горизонтальній площині	$\pm 20$
	- нахил короткої сторони	
	- нахил довгої сторони	$\pm 45^\circ$
24.3	Маса, не більше, кг	50
25	Лещата універсальні	
25.1	Ширина губок, мм	$125 \pm 2$
25.2	Висота губок, не більше, мм	40
25.3	Кут повороту в горизонтальній площині, град	$\pm 360$
25.4	Кут повороту навколо горизонтальної осі, град	$\pm 90$
25.5	Найбільше розведення губок, мм	$80^{+5}$
25.6	Висота, мм	$135 \pm 2$
25.7	Маса, кг	20
26	Лещата	
26.1	Ширина губок, мм	$125 \text{h} 14$
26.2	Найбільший хід губки, мм	$125 \text{h} 5$
26.3	Довжина, не більше, мм	400
26.4	Висота, не більше, мм	140
26.5	Ширина, мм	200
26.6	Висота губок, не менше ніж, мм	40
26.7	Маса, не більше, кг	22
27	Головка ділильна і гітара	
27.1	Висота центрів, мм	$107 \pm 2$

27.2	Найбільша відстань від торця шпинделя до центра підтримки, мм	220 <sup>+2</sup>
27.3	Найбільший кут повороту головки в площині кріплення, рад	+90°
27.4	Передатне відношення черв'ячної пари	1:40
27.5	Конус кінця шпинделя по ГОСТ 24644-81	Морзе 4
27.6	Норми точності	За ГОСТ 26016-83
27.7	Ступінь точності конуса шпинделя	AT6
27.8	Маса, кг	60
28	Головка швидкохідна	
28.1	Зовнішній конус головки з конусністю 7:24	40
28.2	Ступінь точності конуса за ГОСТ 19860-74	AT5
28.3	Межі частот обертання шпинделя об/хв	5200
28.4	Передатне відношення	2,6
28.5	Маса, не більше, кг	4,65
29	Головка довбальна	
29.1	Найбільший кут повороту у вертикальній площині, град	+90°
29.2	Число подвійних ходів, хв	
	- найменше	50
	- найбільше	100
29.3	Хід, мм	

	- найменший	0
	- найбільший	80 <sup>+5</sup>
29.4	Маса, кг	29
30	Пристосування для нарізування спіральних канавок	
30.1	Найбільший крок нарізання спіралі, мм	5376
31	Маса верстата з електроустаткуванням, включаючи електрошафу і вертикальну головку (без кутового горизонтального стола та пристосувань)	900
32	Маса окремо розташованих знімних пристосувань, інструментальної шафи, що поставлять за окрему плату	460

## **1.2. Загальна компоновка верстата**

Фрезерний, інструментальний, широко-універсальний верстат складається з окремих складових частин (Рис. 2)

На чавунній основі 12 закріплена колона 11, на якій монтуються всі основні частини верстата. На задній стінці колони встановлений привод подачі. На верхній частині колони по горизонтальних напрямних переміщається шпindelна бабка 13, до якої кріпляться вертикальна головка 14 і хобот. По вертикальних напрямних колони переміщається супорт, а по його горизонтальних напрямних - основний вертикальний стіл. Пульт керування верстатом установлений праворуч на кронштейні, що кріпляться до колони. Бак охолодження з електронасосом розміщено підставці 12. Там же розміщений насос змащення і приводом. Шафа керування верстатом з'єднана з ним за допомогою сполучних шлангів.

До вертикальної базової площині основного вертикального стола супорта, кріпиться горизонтальний стіл або універсальний кутовий стіл, які служать для установки на оброблюваних деталей.

Для ділильних робіт верстат оснащений круглим столом і ділильною головкою, які можуть установлюватися як на горизонтальному столі так і на вертикальній площині основного вертикального стола.

Для довбальних робіт передбачена довбальна головка, яка встановлюється на шпindelній бабці.

Для виконання відрізних, свердлильних, зенкерних робіт і розточування передбачені перехідні конусні втулки, які встановлюються й кріпляться в конусах шпинделя. Різцетримач і цанговий патрон установлюються і закріплюються безпосередньо в конусах шпинделів.

## Рис. 2. Компонування верстата

### 1.3. Схема кінематична

#### *Ланцюг головного руху*

Від електродвигуна М1 потужністю 1,5 кВт через поліклінову передачу, рух передається на вал № I коробки швидкостей. Від вала I через зубчасті колеса блоку шестірень 13,14,15 і шестірень 10,11,12 руху передається на вал II, на якому створює 3 різні числа обертів, за допомогою шестірень 9.45;5 і 6,7,8 на валу можна одержати 9 чисел обертів.

Таким чином, ми одержуємо 9 різних чисел обертів з його верхньої межі швидкостей, які через кулачкові муфти шестірні 4 і 3, передають на вал V і через шестірню 1 і 42 на горизонтальний шпindel VI.

Дев'ять нижчих обертів ми одержуємо при відключених муфтах 4 і 3 через шестірні 4 і 44 на вал VI шестірні 2 і 3 вал V, шестірні 1 і 42 на горизонтальний шпindel VI.

У такий спосіб, різне положення блоків шестірні перебору дають можливість одержувати на шпинделі 18 різних швидкостей.

Шпindel VII вертикальної головки одержує обертання від валу V через муфту і конічну пару 46, 47.

Для забезпечення мінімального рівня шуму та максимальної жорсткості головного привода, коробка швидкостей розміщена на шпиндельній бабці і її вихід безпосередньо зв'язаний зі шпинделем.

Така кількість працюючих передач забезпечує низький розрахунковий рівень шуму при роботі на будь-яких швидкостях верстатів.

#### *Ланцюг подачі*

Ланцюг подач передає рух трьом робочим органам: супорту по вертикалях, полозки у поздовжньому напрямку і шпіндельній бабці в поперечному напрямку. Всі переміщення здійснюються вручну або механічно. Вертикальне переміщення здійснюється за допомогою гвинта 32 і гайки.

Рух на гвинт передачі через двигун М через шестірні 21 і 22 і через вал XIV, і по ланцюзі 31, 33 і 29, 36 при цьому муфта на валу IX заземлена з колесом 36. При зміні напрямку подач (муфта на валу XX зачіпається колесом 37) на гвинт передається по ланцюзі: 31, 32, 39, 38, 37. Ручне рух переміщення супорта по вертикалі здійснюється від маховика на валу XII через пару конічних передач 35,34.

Муфта на валу VIII перебуває в нейтральному положенні.

Полозки пересуваються за допомогою гвинта 27 і гайки 49 від ланцюга поздовжніх подач, рух на гвинт передається від валу XIV через ланцюг 31,33,29,30,41,40. Муфта на валу XII при цьому заземлена з колесом 30.

При зміні напрямку подач (муфта на валу XII зачіпляється з колесом 28) рух на гвинт передається на ланцюзі 31,33,39,38,28 41,40. Ручне переміщення полозок здійснюється від маховика на валу VIII. Муфта на валу XII при цьому перебуває в нейтральному стані.

Бабка переміщується за допомогою гвинта XVII і гайки 48. Рух на гвинт передається за допомогою пари 19,25, що отримує рух через ланцюг від зірочок 24,20,23 через пару 21,22 від двигуна М.

Муфта на валу XVI при цьому зачеплена з колесом 16. При зміні напрямку подачі бабки (муфта валу XVI зачіплюється з колесом 17) рух на гвинт передається по ланцюзі 17, 18, 19, 25. Муфта на валу XVI перебуває в цей час у нейтральному положенні.

прискорений рух всіх ланцюгів подач відбувається за допомогою кнопки прискореного ходу, що знаходиться на пульті (Рис. 3.)

Рис. 3. Кінематична схема

#### **1.4. Складові верстата та їх опис**

Широко-універсальний інструментальний фрезерний верстат складається з окремих складальних одиниць на чавунній основі закріплена стійка, де монтуються всі основні вузли верстата по горизонтальній напрямної стійкі переміщається фрезерна бабка, у якій розміщена коробка швидкостей і до якої кріпляться вертикальна головка, хобот і важелі керування коробки швидкостей.

По напрямної стійкі переміщається супорт, а по його вертикальним горизонтальних напрямних - полозки. До нижньої частини стійки кріпиться двигун подач постійного струму, за допомогою якого досягається плавна зміна швидкостей подач.

У вертикальній базовій площині полозок кріпляться кутовий або універсальний стіл, що служать для установки оброблюваних виробів.

Для ділильних робіт служить "ділильна головка", що може встановлюватися як на кутовому столі, так і на вертикальній площині полозок.

Для довбальних робіт призначена довбальна головка, що кріпиться на фрезерні бабці.

Швидкохідна головка кріпиться також до фрезерної бабки.

Інструмент кріпиться в конусах шпинделів.

***Коробка швидкостей (Рис. 4)***

Коробка швидкостей верстата вмонтована в шпиндельну бабку. У передній частині бабки монтується горизонтальний шпиндель №4, що приводиться в обертання коробкою швидкостей, вбудованої в шпиндельну бабку. До заднього торця бабки кріпиться кронштейн 1 із двигуном 2, що через ремінь передає обертання на коробку швидкостей.

Перемикання швидкостей виконується рукоятками 7, 8, 9. Рукоятка 9 служить для включення нижнього діапазону чисел обертів від 40 до 250 об/хв і верхній від 315 до 2000 об/хв.

Різними положеннями рукояток 7 і 8 одержує дев'ять швидкостей у нижньому діапазоні чисел обертів і дев'ять швидкостей у верхньому діапазоні обертів. При роботі вертикальної головки рукояткою 10 чисел забезпечується відключення горизонтального шпинделя.

Рис. 4. Коробка швидкостей

Увага! Перемикання швидкостей на ходу не допускається.

Для полегшення перемикання швидкостей при перемиканні швидкостей необхідно короткочасно натиснути на рушійну кнопку, розташовану на пульті керування.

### ***Бабка шпиндельна (Рис. 5)***

Бабка шпиндельна переміщається по горизонтальних напрямних колони й призначена для здійснення головного руху верстата й начіпних пристосувань, обертання ріжучого й допоміжного інструмента.



Шпиндельній бабці надається поперечна подача. Шпиндель 5 одержує обертання від двигуна головного руху, встановленого на задній стінці двигуна корпусу шпиндельної бабки, через привод і коробку швидкостей, які змонтовані там, муфту 9 і 13 шестірні 11 і 12. Шпиндель змонтований на чотирьох радіально-упорних підшипниках передньої опори й двох у задній опорі.

Затиск інструмента здійснюється розташованим у шпинделі шомполом, який переміщується уздовж осі шпинделя й захоплює за допомогою кульок хвостовик інструмента. Осьове переміщення шомпола здійснюється обертанням гайки, у яку входить різьбовий кінець шомпола.

Для перетворення обертового руху гайки в поступальний рух шомпола служить шпонка, установлена в шпинделі.

Гайка одержує обертання від маховика. В ободі маховика розміщено два важелі, що мають можливість під дією відцентрової сили повертатися на осях і вводити в зачеплення зубом втулки, яка закріплена на гайці за допомогою шпонкового з'єднання. Обертання маховика проводиться від електродвигуна за допомогою конічних зубчастих коліс.

Відтискання інструмента здійснюється при включенні обертання валу електродвигуна в протилежному напрямку.

Механічна або ручна подача шпиндельної бабки здійснюється гвинтом, розташованим у станині й гайкою розташованою в шпиндельній бабці.

Гвинт одержує обертання від валу привода подачі через муфту. Муфта включається електромагнітом. Вимикання муфти і її фіксація здійснюється пружиною її фіксатором. Ручне переміщення шпиндельної бабки здійснюється маховиком ручного переміщення шпиндельної бабки, через шестірні. Переміщення шпиндельної бабки обмежується прохідними і

кінцевими упорами. Прохідні упори можна виставити на величину заданих переміщень. Величина переміщень шпиндельної бабки контролюється лішкою й лімбом. Особливо точні переміщення контролюються за допомогою індикаторного пристрою. На корпусі ідеальної бабки передбачений отвір для установки арматур, що кріпить трубу, що підводить охолодну рідину в зону обробки.

Зміна частот обертання шпинделя в межах діапазону проводиться з основного пульта керування перемикачем.

Перемикання діапазонів частот обертання шпинделя здійснюється кулачковим механізмом. Повертаючи маховик на 90 градусів відбувається переміщення блоків зубчастих коліс.

#### Рис. 5. Шпиндельна бабка

При перемиканні можливі випадки розбіжності торців зубів зачеплених коліс, у цьому випадку слід натиснути кнопку на допоміжному пульті, у результаті чого вал двигуна одержує коливальний рух.

#### ***Супорт (Рис. 6)***

Супорт служить для здійснення подачі оброблюваної деталі.

Механічна подача стола здійснюється ходовими гвинтами 1 і 3 від приводного валу 7.

Напрямок механічної подачі вправо і вліво, вгору або вниз задається хрестовою рукояткою, при цьому рух стола збігається з напрямком переміщення хрестової рукоятки.

Механічна подача в крайніх положеннях супорта відключається автоматично упорами, розташованими на станині, а в крайніх положеннях полозок – упорами 2, розташованими на корпусі супорта.

## Рис. 6. Супорт

Точне підведення деталі до інструмента здійснюється вручну, маховиками 5, які забезпечують переміщення робочого кутового стола у вертикальному й поперечному напрямках.

Дія вибору люфту в напрямних супорта і полозок необхідно підтягти клини. Відлік переміщення стола, залежно від необхідної точності, може виконуватися трьома передбаченими на станині пристроями: міліметровими лінійками, лімбами 4 і 6 із ціною розподілу 0,05 мм, індикатором і мірними плитками.

### ***Датчик поздовжнього переміщення (Рис. 7)***

Датчик встановлений на супорті. Він являє собою електромеханічну систему, що складається з точної гвинтової пари, перетворювача типу ВС-155А і пристрою цифрового відліку.

Перетворювач призначений для перетворення кута повороту гвинта в код, дешифрованої на цифровому табло в міліметри переміщення полозок.

Перетворювач зв'язаний гвинтом за допомогою муфти.

## Рис. 7. Датчик поздовжнього переміщення

### ***Датчик поперечного переміщення (встановлений на шпиндельній бабці) (Рис. 7)***

Датчик встановлений на станині. По конструкції він аналогічний датчику поздовжнього переміщення.

Вимір переміщення шпиндельної бабки здійснюється за допомогою вимірювального ролика, що пов'язаний з перетворювачем ВС-155А.

Вимір переміщення шпиндельної бабки здійснюється за допомогою вимірювального ролика, що пов'язаний з перетворювачем ВС-155А.

### ***Станина (Рис. 8)***

Станина верстата складається із двох деталей: колони 3 і основи 1.

Обидва корпус являють собою чавунні виливки кубічної форми. На станині розміщаються основні вузли верстата, зв'язані між собою кінематичними ланками.

На кронштейні 2, що розміщений на колоні 3, встановлений електродвигун привода подач.

У колоні розміщені ланцюгові передачі супорту і шпindelьної бабки.

На станині змонтований механізм включення подач шпindelьної бабки, керованою рукояткою, що сидить на валу 4. У верхній частині станини розташований маховичок ручного переміщення шпindelьної бабки.

Рис. 8. Станина

### ***Вертикальна фрезерна головка (Рис. 9)***

Вертикальна головка с знімним вузлом, за допомогою якого верстат переналагоджується з горизонтального у вертикальний.

Вертикальна головка кріпиться до шпindelьної бабки чотирма гвинтами. Вертикальна головка може повертатися на  $90^\circ$  в обидва боки, для цього на плиті нанесені розподіли в градуса, а на корпусі 1 вигравіруваний відліковий індекс.

Для обробки партії деталей на певну величину гільза 2 подається до регульованого упору 3, що фіксується в потрібному положенні на шпindelі гвинтом.

Шпindelь головки приводиться в обертання від приводного валу через конічні шестірні 4 і 5.

Ріжучий або допоміжний інструмент закріплюється в отвір шпинделя за допомогою шомпола 6.

Рис. 9. Вертикальна головка

## **1.5. Знімні вузли й пристосування**

### ***Кутовий горизонтальний стіл (Рис. 10)***

Застосовується для звичайних фрезерних робіт. Кріпиться гвинтами до вертикальної площини полозка й виставлені по її контрольній крайці.

Рис. 10. Кутовий горизонтальний стіл

### ***Кутовий універсальний стіл (Рис. 11)***

Кутовий універсальний стіл призначений для установки оброблюваних деталей під кутом до кожної із трьох координатних площин.

Кутовий універсальний стіл складається із плити I, на яку крениться косинець 4. На вугільні змонтовані консоль 3 і робочий стіл 2.

Конструкція дозволяє робити повороти стола відносної вертикальної і двох горизонтальних осей верстата.

Відлік кутів повороту стола відбувається по шкалах, нанесеним на основі стола, на консолі і кутнику.

Рис. 11. Кутовий універсальний стіл

Стіл базується по робочій площині і верхньому пазу основного вертикального стола і кріпиться трьома гвинтами.

### ***Лещата (Рис. 12)***

Лещата верстаті радіально-поворотні призначені для закріплення дрібних деталей для фрезерування.

Лещата можуть повертатися на 360° навколо осі, перпендикулярної до основи. Лещата складаються з корпусу, по напрямних якого переміщається

рухлива губка. Підведення рухливої губки до деталі й її закріплення здійснюється за допомогою гвинтової пари.

Особливістю конструкції лещат є застосування клинових губок, завдяки яким затискає деталь, що, притягається до напрямних корпусу, і в такий спосіб здійснюється точне її базування.

Рис. 12. Лещата

Застосування упорного підшипника в сполученні з тарілчастими пружинами в лещатах дозволяє полегшити затиск деталі, збільшує довговічність лещат. Лещата можуть бути встановлені на основному, кутовому або на універсальному столі.

## **2. Конструкторська частина**

### **2.1. Визначення технічних характеристик модернізованого верстата**

До технічних характеристик верстата відносяться технологічні, розмірні, кінематичні, силові і динамічні його характеристики.

Технологічні характеристики визначають службове призначення верстата, виконавчі технологічні операції, матеріал і вид заготовок, ріжучий інструмент, режими обробки і якість оброблених поверхонь. Розмірні характеристики верстата визначають граничні розміри оброблених деталей і відповідні їм довжини робочих ходів.

Кінематичні характеристики верстата включають граничні значення частот обертання робочих шпинделів і подач робочих органів, швидкості допоміжних рухів. Силові характеристики верстата визначають найбільші значення сил, крутних моментів і потужності, допустимі при усталеному процесі різання.

Динамічні характеристики верстата визначають його поведінку під час дії навантажень, змінних у часі.

Для вирішення по задачі треба визначити силові та кінематичні характеристики ППР, з розрахунком жорсткості шпиндельного вузла. Розглянемо повний розрахунок модернізованого горизонтально шпиндельного вузла на жорсткість та розрахунок деяких елементів ПРГ.

Для цього розглянемо режими різання при фрезеруванні, які визначають силові характеристики верстата [2]

## **2.2. Розрахунки діапазоні фрезерування**

1. Виходячи з розміру горизонтального стола 630x500мм; для фрез зі швидкорізальної сталі

*а) визначаємо максимальний діаметр фрези:*

$$\delta = 0,5 \cdot B_{\text{ст}} = 0,5 \cdot 250 = 125 \text{ мм}$$

згідно з довідковими даними приймаємо  $\delta = 100 \text{ мм}$

*б) визначаємо мінімальний діаметр фрези:*

$$D_{\text{min}} = 0,1 \cdot B_{\text{ст}} = 0,1 \cdot 250 = 25 \text{ мм}$$

де  $B_{\text{ст}} = 250 \text{ мм}$  – ширина стола, згідно з довідковими даними приймаємо  $D_{\text{min}} = 20 \text{ мм}$

*в) визначаємо ширину фрезерування:*

$$B_{\text{ст}} = \delta = 100 \text{ мм}$$

$$B_{\text{м}} = 0,75 D_{\text{min}} = 15 \text{ мм}$$

*г) по таблиці знаходимо глибину фрезерування:*

при чорновій обробці  $t_{\delta} = 5 \text{ мм}$

при чистовій обробці  $t_{\text{м}} = 0,5 \text{ мм}$

*д) визначаємо граничне значення подач:*

при чорновій обробці:

при  $t_\delta = 5$  мм,  $\delta = 100$  мм,  $z_\phi = 18$  зубів,  $S_{z\delta} = 0,03$  мм/зуб

при чистовій обробці:

при  $t_m = 0,5$  мм,  $D_{min} = 20$  мм,  $z_\phi = 5$  зубів,  $S_{zm} = 0,03$  мм/зуб

Максимальна подача

$$S_\delta = S_{z\delta} \cdot z_m \cdot n_{max} = 0,2 \cdot 8 \cdot 63,7 = 101,9 \text{ мм/хв}$$

$$\text{де } n_{max} = \frac{1000}{\pi \cdot 100} = 63,67 \text{ об/хв}$$

Мінімальна подача:

$$S_m = S_{zm} \cdot z_m \cdot n_\delta = 0,03 \cdot 4 \cdot 557,14 = 66,9 \text{ мм/хв}$$

$$\text{де } n_\delta = \frac{1000}{\pi \cdot 20} = 557,14 \text{ об/хв}$$

2) Виходячи з розміру горизонтального стола для фрез із конструкційної сталі, оснащених твердосплавними пластинами.

*а) визначаємо максимальний діаметр фрези:*

$$\delta = 0,75 \cdot B_{ст} = 0,75 \cdot 250 = 175 \text{ мм}$$

по каталогу приймаємо  $\delta = 150$  мм)

*б) визначаємо мінімальний діаметр фрези:*

$$D_{min} = 0,3 \cdot B_{ст} = 0,3 \cdot 250 = 75 \text{ мм}$$

приймаємо  $D_{min} = 100$  мм

*в) визначаємо ширину фрезерування:*

при швидкісному фрезеруванню:

$$B_{ст} = 1 \cdot \delta = 100 \text{ мм}$$

$$B_m = 0,6 \cdot D_{min} = 60 \text{ мм}$$

*г) по довіднику знаходимо:*



1) глибина фрезерування при чорновому фрезеруванню  $t_\delta = 5\text{ мм}$ ,  
при чистовому фрезеруванню  $t_m = 1\text{ мм}$ .

2) подача на зуб:

при чорновому фрезеруванню

при чистовому фрезеруванню

д) визначаємо швидкості фрезерування:

1) Максимальна:

$$v_\delta = \frac{228,5 \cdot D_{min}^{0,7} \cdot \kappa}{t_m^{0,2} \cdot S_{zm}^{0,1} \cdot B_m^{0,2}} = \frac{228,5 \cdot 100^{0,7} \cdot 1,22}{1^{0,2} \cdot 0,03^{0,1} \cdot 60^{0,2}} = 438,4 \text{ м/хв}$$

при обробці самої твердої сталі:

$$v_m = \frac{107 \cdot D_\delta^{0,2} \cdot \kappa}{t_\delta^{0,15} \cdot S_{z\delta}^{0,4} \cdot B_\delta^{0,2}} = \frac{107 \cdot 150^{0,2} \cdot 1,22}{5^{0,15} \cdot 0,24^{0,4} \cdot 150^{0,2}} = 196,8 \text{ м/хв}$$

е) визначаємо частоти обертання шпинделя:

1) Більша:

$$N_\delta = \frac{1000 \cdot v_\delta}{\pi \cdot D_m} = \frac{1000 \cdot 438,4}{\pi \cdot 100} = 1395,58 \text{ хв}^{-1}$$

2) Менша:

$$N_m = \frac{1000 \cdot v_m}{\pi \cdot D_\delta} = \frac{1000 \cdot 196,8}{\pi \cdot 150} = 417,62 \text{ хв}^{-1}$$

ж) визначаємо граничне значення подач:

1) Максимальна:

$$S_\delta = S_{zm} \cdot n_m = 0,24 \cdot 8 \cdot 417,62 = 801,8 \text{ мм/хв}$$

2) Мінімальна:

$$S_\delta = S_{zm} \cdot z_m \cdot n_z = 0,03 \cdot 3 \cdot 1395,58 = 125,6 \text{ мм/хв}$$

3) Діапазон регулювання механізму подач:

$$S_\delta = 801,8 \text{ мм/хв}$$

$$S_\delta = 66,9 \text{ мм/хв}$$

4) Потужність споживана:

$$N_{\text{дв}} = \frac{N_{\delta}}{Kr};$$

де  $K$  – коефіцієнт навантаження,  $K=1,22$

$r$  – ККД приводу

$$\eta = \eta_{\text{дв}} \cdot \eta_{\text{п}}^a \cdot \eta_{\text{м}}^b \cdot \eta_{\text{з.п}}^c,$$

де  $\eta_{\text{дв}} = 0,82$  – ККД двигуна

$\eta_{\text{п}}^a = 0,998$  – ККД підшипників

$a$  – кількість підшипників

$\eta_{\text{м}}^b = 0,97$  – ККД муфт

$b$  – кількість муфт

$\eta_{\text{з.п}}^c = 0,98$  – ККД зубчастої передачі

$c$  – кількість зубчастих зачеплень

$$\eta = 0,82 \cdot 0,996^7 \cdot 0,97^2 \cdot 0,98^6 = 0,76$$

$$N_{\text{дв}} = \frac{4,8}{1,22 \cdot 0,76} = 5,18 \text{ кВт}$$

$$\text{де } N_{\delta} = 2,18 \cdot 10^{-5} \cdot t_{\delta}^{0,86} \cdot n_{\text{м}} \cdot B_{\delta} \cdot z \cdot S_{z\delta}^{0,72} \cdot D_{\delta}^{0,14} =$$

$$= 2,18 \cdot 10^{-5} \cdot 5^{0,86} \cdot 63,67 \cdot 100 \cdot 12 \cdot 0,24^{72} \cdot 150^{0,14} = 4,8 \text{ кВт}$$

### 2.3. Кінематичні розрахунки коробки швидкостей

По каталогу вибираємо двигун постійного струму з тиристорним керуванням, з параметрами:

$$N_{\text{ном}} = 4,75 \text{ кВт}; n_{\text{min}} = 1000 \text{ об/хв}; n_{\text{max}} = 3000 \text{ об/хв}$$

Для розрахунків приймаємо  $\varphi = 1,25$

1) Визначаємо діапазон регулювання фіктивної групи:

$$R_{\phi.\Pi} = \frac{3000}{1000} = 3$$

2) Визначаємо діапазон регулювання приводу:

$$R_{\Pi p} = \frac{3150}{40} = 78,75,$$

тоді діапазон регулювання коробки швидкостей:

$$R_{\text{кш}} = \frac{78,75}{3} = 26,25$$

3) Визначаємо число щаблів:

а) у фіктивній групі:

$$z_{\phi} = \frac{\lg \cdot R_{\phi.\Pi}}{\lg \cdot \varphi} = \frac{\lg 3}{\lg 1,25} = 4,93$$

Приймаємо  $z_{\phi} = 5$

б) приводу:

$$z_{\Pi} = \frac{\lg \cdot R_{\Pi p}}{\lg \cdot \varphi} + 1 = \frac{\lg 78,75}{\lg 1,25} + 1 = 20,3$$

4) Структурна формула приводу буде мати такий вигляд:

$$z = 5_1 \cdot 2_5 \cdot 2_9$$

5) Визначимо числа зубів зубчастих коліс коробки швидкостей:

$$\text{а) } i_1 = \varphi = \frac{5}{4} \quad a_1 = 5; b_1 = 4; a_1 + b_1 = 9$$

$$\Sigma_1 = 63$$

$$i_2 = \frac{1}{\varphi^4} = \frac{2}{5} \quad a_2 = 2; b_2 = 5; a_2 + b_2 = 7$$

$$z_1 = \frac{a_1 \cdot \Sigma_1}{a_1 + b_1} = \frac{5 \cdot 63}{9} = 35$$

$$z_2 = \frac{B_1 \cdot \Sigma_1}{a_1 + b_1} = \frac{4 \cdot 63}{9} = 28$$

$$z_3 = \frac{a_2 \cdot \Sigma_1}{a_2 + b_2} = \frac{2 \cdot 63}{7} = 18$$

$$z_4 = \frac{B_2 \cdot \Sigma_1}{a_2 + b_2} = \frac{5 \cdot 63}{7} = 45$$

$$б) \quad i_3 = \frac{1}{\varphi^3} = \frac{63}{32} \quad a_3 = 63; \quad b_3 = 32; \quad a_3 + b_3 = 95$$

$$\Sigma_2 = 95$$

$$i_4 = \frac{1}{\varphi^6} = \frac{1}{4} \quad a_4 = 1; \quad b_4 = 4; \quad a_4 + b_4 = 5$$

$$z_5 = \frac{a_3 \cdot \Sigma_2}{a_3 + b_3} = \frac{95 \cdot 63}{95} = 63$$

$$z_6 = \frac{b_3 \cdot \Sigma_2}{a_3 + b_3} = \frac{32 \cdot 95}{95} = 32$$

$$z_7 = \frac{a_4 \cdot \Sigma_2}{a_4 + b_4} = \frac{1 \cdot 95}{5} = 19$$

$$z_8 = \frac{b_4 \cdot \Sigma_2}{a_4 + b_4} = \frac{4 \cdot 95}{5} = 45$$

$$i_1 = \varphi; \quad i_2 = \frac{1}{\varphi^4}; \quad i_3 = \varphi^3; \quad i_4 = \frac{1}{\varphi^6}$$

Кінематична схема коробки швидкостей

$$n_{min} = 1000 \text{ об/хв}; \quad n_{max} = 3000 \text{ хв}^{-1}; \quad N = 4,75 \text{ кВт}$$

### **3. Розрахунок шпиндельного вузла**

#### **3.1. Основні вимоги до шпинделів**

Шпинделі служать для закріплення й обертання заготовок або різального інструменту й забезпечують задане положення їх стосовно інших вузлів верстата. Для забезпечення необхідної точності верстата в межах необхідного терміну служби до шпиндельних вузлів верстаті пред'являють в наступні основні вимоги:

- 1) точність обертання вимірювана биттям на передньому кінці шпинделя в радіальному чи осьовому напрямках;
- 2) твердість шпиндельного вузла, обумовлена по пружних переміщеннях переднього кінця шпинделя, обумовленим піддатливістю власне шпинделя і його опор; радіальна й осьова твердість шпиндельного вузла істотно впливає на точність обробки;
- 3) вібростійкість шпиндельного вузла;
- 4) довговічність шпиндельних вузлів, що зв'язана з довговічністю опор шпинделя;
- 5) обмеження тепловиділення і температурних деформацій шпиндельного вузла, що сильно впливають на точність обробки;

За умовами роботи шпинделі можуть бути розділені на наступні групи:

- 1) шпинделі, що піддаються згинальним і крутним впливам (токарських, фрезерних, шліфувальних і інших верстатів);
- 2) шпинделі, піддані переважно крутним впливам і тому мало впливають на точність і переважно шорсткість оброблюваних поверхонь (свердлильних, різьбонарізних, притирочних верстатів).

Вирішальними факторами, що визначають вибір матеріалу шпинделя, є твердість і зносостійкість робочих шийок, базуючих поверхонь фланців і стабільність розмірів і форми шпинделя в процесі його виготовлення і роботи.

Для шпиндельних верстатів нормальної й підвищеної точності (Н і П), установлені в підшипниках кочення, у якості основного методу зміцнення рекомендується поверхневе загартування з індукційним нагріванням до твердості HRC 48 – 56. Ця твердість забезпечується при виготовленні шпинделів зі сталей марок 40Х 45, 50.

В більшості металорізальних верстатах шпиндельні опори являють собою підшипники кочення різних видів [2, 4, 8, 9, 10].

### **3.2. Розрахунок шпиндельного вузла**

У даному дипломному проекті для виконання поставленої мети було змінено компоновку опор шпиндельного вузла.

У базовому верстаті пропонувалося компоновка у вигляді: задня – опора – два радіально-упорних шарикових підшипника; передня – упорно-радіальний.

У запропонованій компоновці: задня опора – два радіально-упорних підшипники, передня – два радіально-упорних, які повинні сприймати радіальне навантаження.

Вихідні дії:

$$l = 300 \text{ мм}; a = 84 \text{ мм}.$$

За значенням параметру швидкохідності  $K_v = dn_{max}$ , обираємо компоновочну схему ШВ – тип, кількість, розташування підшипників.

$$\text{Швидкохідність} - (d \cdot n) \cdot 10^5 = 5,7 \text{ мм} \cdot \text{хв}^{-1}$$

За такої швидкохідності з довідкової літератури (Пуш В.Э. Металлорежущие станки) обираємо компоновочну схему ШВ[13];

Рис. 13. Схема опор ШВ

Уточнюємо швидкісний параметр ШВ, в залежності від конструктивних умов.

Для цього попередньо обираємо тип змащування, оцінюємо навантаженість верстата, клас жорсткості верстата, тип попереднього натягу.

Максимально припустиму частоту обертання підшипників приймаємо для попередніх розрахунків  $[n_{max}] = n_k \gamma$ , де  $n_k$  – припустима частота обертання за каталогом;

$\gamma = 0,8$  – коефіцієнт, що враховує умови теплопередачі та якість монтажу

Шпиндель з опорами є зазвичай статично невизначеною системою, навантаженою зовнішніми зусиллями (сіли різання та зусилля від приводу) та внутрішніми (теплові, кінематичні, монтажні).

Розрахункова схема відображає навантаження, які діють на шпиндельний вузол, елементи, що сприймають це навантаження (опори ШВ), параметри, що характеризують розташування елементів розрахункової схеми та властивості цих елементів (розміри, жорсткість, тощо)

Для попередніх розрахунків шпиндель розглядають як статично визначену балку східчасто-змінного перерізу опорах, при цьому з усіх опор обирають найвіддаленіші одна від одної. Тип опор на розрахунковій схемі обирають в залежності від типу та компоновки підшипників (Рис. 14)

Рис. 14. Схема навантаження шпинделя

### **3.2.1. Розрахунок жорсткості опор**

Жорсткість вузла шпинделя визначає продуктивність і точність обробки заготовки. Відстань між опорами визначає металоємність шпинделя і його собівартість [4].

Рис. 15. Розрахункова схема шпиндельного вузла

Визначаємо реакції в передній  $R_1$  та задній  $R_2$  опорах відповідно.

Реакція передньої опори [11,7]

$$R_1 = \frac{P \cdot (a + l)}{l} = \frac{9877 \cdot (84 + 300)}{300} = 12,54 \text{ кН};$$

Реакція задньої опори [11,7]

$$R_2 = \frac{P \cdot a}{l} = \frac{9877 \cdot 84}{300} = 2,7 \text{ кН};$$

Жорсткість передньої (задньої) опори на підшипниках кочення [7]:

$$C_{r1} = \frac{R_1}{\delta'_r + \delta''_r}; \quad C_{r2} = \frac{R_2}{\delta'_r + \delta''_r};$$

де  $\delta'_r, \delta''_r$  — пружне зближення тіл кочення та кілець підшипників і контактне зближення на посадочних поверхнях підшипника, шпинделя і корпусу.

$\delta_r = (\delta'_r + \delta''_r) = k_{\text{ш}} \cdot R^{\frac{2}{3}}$ ; де  $k_{\text{ш}}$  — коефіцієнт піддатливості.

$$k_{\text{ш}} = 10^{-4}(0,7 - 0,02 \cdot 90) = 0,000058 \text{ см} \cdot \text{кгс}^{-\frac{2}{3}};$$

$$\delta_{r1} = (\delta'_r + \delta''_r) = k_{\text{ш}} \cdot R_1^{\frac{2}{3}} = 0,000058 \cdot 12,54^{\frac{2}{3}} = 0,000031;$$

$$\delta_{r2} = (\delta'_r + \delta''_r) = k_{\text{ш}} \cdot R_2^{\frac{2}{3}} = 0,000058 \cdot 2,7^{\frac{2}{3}} = 0,000012;$$

Жорсткість передньої опори [11,7]:

$$C_{r1} = \frac{R_1}{\delta'_r + \delta''_r} = \frac{12540}{0,000031} = 4 \cdot 10^5 \text{ Н/мм}$$

Жорсткість задньої опори [11,7]:

$$C_{r2} = \frac{R_2}{\delta'_r + \delta''_r} = \frac{2700}{0,000012} = 2,2 \cdot 10^5 \text{ Н/мм}$$

Визначаємо піддатливість передньої опори [11,7]:



$$e_1 = \frac{1}{C_{r1}} = \frac{1}{4 \cdot 10^5} = 0,25 \cdot 10^{-7} \text{ мм/Н};$$

Визначаємо піддатливість задньої опори:

$$e_2 = \frac{1}{C_{r2}} = \frac{1}{2,2 \cdot 10^5} = 0,45 \cdot 10^{-7} \text{ мм/Н};$$

### **3.2.2. Визначення радіального переміщення переднього кінця шпинделя**

$$y = y_{\text{ш}} + y_{\text{по}} + y_{\text{зс}}$$

де  $y_{\text{ш}}$ ,  $y_{\text{по}}$ ,  $y_{\text{зс}}$  – радіальне переміщення, що виникає під дією згину шпинделя, піддатливістю опор та зсуву дії поперечних сил (величиною  $y_{\text{зс}}$  можна знехтувати, так як вона не перевищує 3 – 6 % від  $y$ , тому:

$$y = y_{\text{ш}} + y_{\text{по}};$$

Радіальне переміщення від згину шпинделя [11, 12]:

$$y_{\text{ш}} = \frac{P \cdot a^2}{3E} \left[ \frac{a}{J_2} + \frac{l(1 - E_3)}{J_1} \right],$$

де  $E$  – модуль пружності,  $E = 2,1 \cdot 10^{11}$  Па;  $J_1, J_2$  – осьові моменти інерції відповідно міжопорної частини та передньої консолі;

$$J = \frac{\pi \cdot d^4}{64} \cdot \left[ 1 - \left( \frac{d_0}{d} \right)^4 \right],$$

Осьовий момент інерції міжопорної частини:

$$J_1 = \frac{\pi \cdot 84^4}{64} \cdot \left[ 1 - \left( \frac{36}{84} \right)^4 \right] = 2344974 \text{ мм}^4;$$

Осьовий момент інерції передньої консолі:

$$J_2 = \frac{\pi \cdot 90^4}{64} \cdot \left[ 1 - \left( \frac{36}{90} \right)^4 \right] = 2745896 \text{ мм}^4;$$

Радіальне переміщення під дією згину шпинделя [11, 12]:

$$y_{\text{ш}} = \frac{P \cdot a^2}{3E} \left[ \frac{a}{J_2} + \frac{l(1 - E_3)}{J_1} \right] = \frac{9877 \cdot 84^2}{3 \cdot 2,1 \cdot 10^5} \cdot \left[ \frac{84}{2344974} + \frac{300 \cdot (1 - 0,25)}{2745896} \right] = \\ = 1,3 \cdot 10^{-5} \text{ мм}$$

Визначаємо піддатливість опор:

$$y_{\text{оп}} = P \left\{ e_1 \left[ \frac{a \cdot (1 - E_3) + l^{-2}}{l} \right] + e_2 \cdot (1 - E_3) \cdot \left( \frac{a}{l} \right)^2 \right\} = \\ = 9877 \cdot \left\{ 0,25 \cdot 10^{-7} \left[ \frac{84 \cdot (1 - 0,25) + 300}{300} \right]^2 + 0,45 \cdot 10^{-7} \cdot (1 - 0,25) * \right. \\ \left. * \left( \frac{84}{300} \right)^2 \right\} = 2,9 \cdot 10^{-4} \text{ мм}$$

Радіальне переміщення переднього кінця шпинделя [11, 12, 13, 14]:

$$y = y_{\text{ш}} + y_{\text{оп}} = 1,3 \cdot 10^{-5} + 2,9 \cdot 10^{-4} = 3,03 \cdot 10^{-4} \text{ мм.}$$

Припустимий прогин  $[y]$  кінця шпинделя можна визначити з досвіду експлуатації верстатів чи приймати на рівні  $1/3$  припустимого биття кінця шпинделя за нормами точності верстатів.

В нашому випадку  $[y] = \frac{5}{3} = 1,67 \text{ мкм}$ ;

Умова жорсткості шпиндельного вузла виконується.

Визначаємо загальну радіальну податливість:

$$l_p = \frac{y}{P} = \frac{3,03 \cdot 10^{-4}}{9877} = 3,06 \cdot 10^{-7} \text{ мм/Н}$$

### 3.2.3. Визначення радіального биття передньої та задньої опори шпинделя

Передньої опори:

$$\delta_A = \frac{\Delta}{6 \cdot \left(1 + \frac{a}{l}\right)} = \frac{0,006}{6 \cdot \left(1 + \frac{84}{300}\right)} = 0,00078 \text{ мм}$$

Задньої опори:

$$\delta_B = \frac{\Delta}{6 \cdot \frac{a}{l}} = \frac{0,006}{6 \cdot \frac{84}{300}} = 0,0035 \text{ мм}$$

де  $\Delta$  — допуск на радіальне биття кінця шпинделя із технічних вимог, для нашого випадку 0,006 мм.

### 3.2.4. Визначення демпфіруючих властивостей шпиндельного вузла

Демпфіруючі властивості шпиндельного вузла можна кількісно оцінити за допомогою логарифмічного декременту коливань  $[\gamma]$ , які для верстатів токарної групи складають  $[\gamma] = 0,40$ .

$$\lambda_{\text{ш}} = 0,5 \frac{\psi_1 \cdot \psi_2 \cdot l^2}{a^2 \cdot \psi_1 + \psi_2 \cdot (l + a)^2}$$

$\psi_1, \psi_2$  — відносне розсіювання енергії як в передній так і в задній опорах.

Приймаємо по табл. 3.10 [3] в залежності від типу підшипників  $\psi_1 = 0,4$ ;  $\psi_2 = 0,4$  [4].

$$\lambda_{\text{ш}} = 0,5 \frac{0,4 \cdot 0,4 \cdot 300^2}{84^2 \cdot 0,47 + 0,35 \cdot (300 + 84)^2} = 0,134$$

$\lambda_{\text{ш}} = 0,134 < [\lambda] = 0,40$  — умова демпфірування не виконується

### 3.2.5. Визначення власної частоти обертання шпинделя

Наближений розрахунок власної частоти шпинделя, який не має великих зосереджених мас визначають по формулі [4]:

$$\omega_c = v \sqrt{\frac{El_1}{m(1+\lambda)^3 a^2}} = 2,4 \sqrt{\frac{2,1 \cdot 10^5 \cdot 2344974}{54000(1+3,5)^3 \cdot 84^2}} = 627 \text{ с}^{-1}$$

де  $v$  – коефіцієнт, який для  $\lambda = 2,5 - 3,5$  лежить в межах  $2,3 - 2,4$ ;

$m$  – маса шпинделя;  $\lambda = \frac{l}{a} = 3,5$

Для уточнення розрахуємо частоту обертання шпинделя:

$$n = \frac{30\omega}{\pi} = \frac{30 \cdot 627}{3,14} = 5990 \text{ об/хв},$$

що задовольняє наші умови.

Для подальших розрахунків доцільно створити твердотільну модель шпинделя в середовищі AutoDesk Inventor та провести розрахунок його напружено-деформованого стану. Даний розрахунок може показати, що шпиндель має найбільші напруження та деформації в районі розташування передньої опори і виникають вони від дії сили різання, що створюється в процесі обробки. Отримані дані є прийнятні для роботи шпиндельного вузла, в умовах, створених при проектуванні та модернізації верстата. Основні дані по цьому розрахунку можна винести на плакат.

### 3.3. Розрахунок деяких елементів ПГР

#### 3.3.1. Розрахунок зубчастих коліс

Перевірочні розрахунки виконаємо на прикладі зубчастого зачеплення  $z_{11} - z_{12}$  [6, 7].

Перевірочний розрахунок на витривалість при згині виконується за формулами:

$$\sigma_F = Y_F \cdot Y_\varepsilon \cdot Y_\beta \cdot \frac{W_{Ft}}{b_\omega} \leq \sigma_{FP}, \text{ МПа}$$

$$W_{Ft} = K_{F\alpha} \cdot K_{F\beta} \cdot K_{Fv} \cdot \frac{W_\tau}{m}, \text{ Н/мм}$$

$$\sigma_{FP} = Y_R \cdot Y_S \cdot Y_{xF} \cdot \frac{\sigma_{Flim}}{S_F}, \text{ МПа}$$

де  $Y_F = 3,8$  – коефіцієнт, що враховує форму зуба;

$Y_\varepsilon = 1$  – коефіцієнт, що враховує перекриття зубців;

$Y_\beta = 0,9$  – коефіцієнт, що враховує нахил зубців;

$W_{Ft}$  – питома розрахункова окружна сила, Н;

$m$  – модуль зачеплення, мм

$b_\omega$  – ширина зубчастого колеса, мм

$K_{F\alpha}$  – коефіцієнт, що враховує розподілення навантаження між зубцями;

$K_{F\beta}$  – коефіцієнт, що враховує розподілення навантаження по ширині вінця;

$K_{Fv}$  – коефіцієнт, що враховує розподілення навантаження по ширині вінця;

$\sigma_{Flim}$  – границя витривалості зубців при згині;

$S_F$  – коефіцієнт, що враховує градієнт напружень та чутливість матеріалу до концентраторів напружень;

$Y_R = 1$  – коефіцієнт, що враховує шорсткість поверхні;

$Y_{xF}$  – коефіцієнт, що враховує розміщення зубчастого колеса.

$$W_{Ft} = 1 \cdot 1,02 \cdot 1,07 \cdot \frac{7263}{34} = 418 \text{ Н/мм}$$

$$\sigma_{FP} = 1 \cdot 1,05 \cdot 1 \cdot \frac{600}{1,95} = 504 \text{ МПа}$$

$$\sigma_F = 1 \cdot 3,8 \cdot \frac{418}{4} = 504 \text{ МПа} \leq \sigma_{FP}$$

Перевірочний розрахунок на контактну витривалість виконується за формулами:

$$\sigma_H = z_H \cdot z_M \cdot z_\varepsilon \cdot \sqrt{\frac{W_{Ht}}{d_1} \cdot \frac{u+1}{u}} \leq \sigma_{HP}, \text{ МПа}$$

$$W_{Ht} = \frac{P_t}{b_\omega} \cdot K_{H\alpha} \cdot K_{H\beta} \cdot K_{Hv}, \text{ Н/мм}$$

$$\sigma_{HP} = \frac{\sigma_{Hlim}}{S_H} \cdot z_R \cdot z_v \cdot K_{HL} \cdot K_{xH}, \text{ МПа}$$

де  $z_H = 1,73$  – коефіцієнт, що враховує форму зуба;

$z_M = 275$  – коефіцієнт, що враховує механічні властивості матеріалів;

$z_\varepsilon = 0,76$  – коефіцієнт, що враховує сумарну довжину контактних ліній;

$W_{Ht}$  – питома розрахункова окружна сила, Н;

$b_\omega$  – ширина зубчастого колеса, мм;

$K_{H\alpha} = 1$  – коефіцієнт, що враховує розподілення навантаження між зубцями;

$K_{H\beta} = 1,1$  – коефіцієнт, що враховує розподілення навантаження по ширині вінця;

$K_{Hv} = 1,07$  – коефіцієнт, що враховує динамічні навантаження в зачепленні;

$\sigma_{Hlim} = 1488$  МПа – границя витривалості зубців поверхні зуба;

$S_H = 1,1$  – коефіцієнт безпеки;

$z_R = 0,95$  – коефіцієнт, що враховує жорсткість поверхні;

$z_v = 1,06$  – коефіцієнт, що враховує окружну швидкість;

$K_{HL} = 1,5$  – коефіцієнт довговічності;

$K_{xH} = 1$  – коефіцієнт, що враховує розмір зубчастого колеса.

$$\sigma_H = 1,73 \cdot 275 \cdot 0,76 \cdot \sqrt{\frac{251}{88} \cdot \frac{0,32 + 1}{0,32}} = 1240 \text{ МПа} \leq \sigma_{HP}$$

$$W_{Ht} = \frac{7263}{34} \cdot 1 \cdot 1,1 \cdot 1,07 = 251 \text{ Н/мм}$$

$$\sigma_{HP} = \frac{1084}{1,1} \cdot 0,95 \cdot 1,06 \cdot 1 \cdot 1,5 = 1488 \text{ МПа}$$

### 3.3.2. Розрахунок підшипників

Розрахунок виконаємо для підшипників проміжних валів коробки швидкостей [1, 6, 7].

Вал 2:

В якості опор для вала 2 використовуємо шарикові радіальні підшипники

307, динамічна вантажопідйомність яких за каталогом ( $C = 26200 \text{ Н}$ ) та 407 ( $C = 43600 \text{ Н}$ ) ГОСТ 8338-75

Радіальні сили, що діють на опори:

$$F_{rA} = \sqrt{R_{AB}^2 + R_{Ar}^2} = \sqrt{1225^2 + 168^2} = 1236 \text{ Н}$$

$$F_{rB} = \sqrt{R_{BB}^2 + R_{Ar}^2} = \sqrt{1774^2 + 525^2} = 1850 \text{ Н}$$

За табл. 6.1. [2] визначаємо коефіцієнти  $X = 0,56; V = 1$ .

Визначаємо еквівалентне навантаження для більш навантаженої опори:

$$P = (XVF_r + YF_a) \cdot K_\sigma \cdot K_T = 0,56 \cdot 1850 \cdot 1 \cdot 1,2 \cdot 1,05 = 1305 \text{ Н}$$

де  $K_\sigma$  – коефіцієнт безпеки;

$K_T$  – температурний коефіцієнт.

За табл. 21 додатку [2]

$$\frac{C}{P} = 6,2$$

Тоді потрібна динамічна вантажопідйомність:

$$C = 6,2 \cdot P = 6,2 \cdot 1305 = 8091 \text{ Н},$$

що менше вантажопідйомності за каталогом.

Номінальна довговічність підшипника:

$$L = \left(\frac{C}{P}\right)^3 = \left(\frac{8091}{1305}\right)^3 = 238 \text{ млн. об}$$

Вал 3:

В якості опор для валу 3 використовуємо шарикові радіальні підшипники

309 та 308 ГОСТ 8338-75, динамічна вантажопідйомність яких за каталогом  $C = 37800 \text{ Н}$  та  $C = 31900 \text{ Н}$ .



Радіальні сили, що діють на опори:

$$F_{rA} = \sqrt{R_{AB}^2 + R_{Ar}^2} = \sqrt{2613^2 + 603^2} = 2682 \text{ Н}$$

$$F_{rB} = \sqrt{R_{BB}^2 + R_{Ar}^2} = \sqrt{2990^2 + 74^2} = 2991 \text{ Н}$$

За табл. 6.1. [2] визначаємо коефіцієнти:  $X = 0,56$ ;  $V = 1$ .

Визначаємо еквівалентне навантаження для більш навантаженої опори:

$$P = (XVF_r + YF_a) \cdot K_\sigma \cdot K_T = 0,56 \cdot 2991 \cdot 1 \cdot 1,2 \cdot 1,05 = 2110 \text{ Н}$$

За табл. 21 додатку [2]

$$\frac{C}{P} = 4,93$$

Тоді потрібна динамічна вантажопідйомність:

$$C = 4,93 \cdot P = 4,93 \cdot 2110 = 10402 \text{ Н},$$

що менше вантажопідйомності за каталогом.

Номінальна довговічність підшипника:

$$L = \left(\frac{C}{P}\right)^3 = \left(\frac{10402}{2110}\right)^3 = 21,5 \text{ млн. об}$$

## 4. Інструмент

### 4.1. Види врез

**Фрэза** (від фр. *fraise*, можливо, від нар.-лат. *\*fresāre* < лат. *frendo* — «дроблю», «товчу») — багатолезовий різальний інструмент для оброблення з обертальним головним рухом різання інструменту без зміни радіуса траєкторії цього руху і хоч би з одним рухом подавання, напрям якого не збігається з віссю обертання. У процесі оброблення зубці фрези послідовно вступають у контакт з оброблювальною поверхнею. Залежно від призначення та виду поверхонь для фрезерування застосовують фрези різних конструкцій, типів, з різним матеріалом різальної кромки.

Фрези представляють собою тіла обертання, оснащені зубами. На форму поверхні, яка виходить після обробки фрезою, впливає геометрія ріжучого інструменту, а також розміщення осі щодо заготовки. Таким чином, використовуючи різні комбінації, можна виготовляти деталі з прямою, циліндричною і фасонною поверхнею. Оснащення розрізняють за матеріалом, для обробки якого вони призначені. Те, що призначене для дерева, не можна використовувати по металу.

Фрези застосовуються на фрезерних верстатах загального та спеціального призначення при виконанні таких робіт:

- оброблення площин;
- прорізування пазів;
- розрізання металу на частини;
- оброблення фасонних поверхонь.

Залежно від геометричної форми та призначення фреза буває:

- Циліндрична
- Торцева
- Дискова
- Кінцева
- Фасонна

По конструкції різальних зубів фрези поділяють на дві групи: з гострозаточеними зубцями та із затилованими зубцями. Особливістю фрез із гострою формою зубів є те, що задня поверхня в них має форму площини; заточення зубців проводиться по задній поверхні. Фрези із затиловою формою зубців заточують по передній поверхні. Після переточувань затиловані фрези зберігають постійний фасонний профіль ріжучих крайок. Для фрез найпростішого типу, які обробляють плоскі поверхні, вибирають гострозаточену форму зубців, а для фасонних — затиловану форму зубців.

До групи фрез із гострозаточеною формою зубців відносять циліндричні, торцеві, кутові, дискові, кінцеві, а також фасонні фрези. У групу фрез із затиловою формою зубців включають опуклі й увігнуті фасонні фрези, дискові модульні, черв'ячні модульні й шліцові, різьбові фрези.

#### **4.1.1. Циліндричні фрези**

##### **1. Різак з високою подачею для широкого спектра застосувань**

DoFeed був розширений, щоб включити різання грубого кроку на додаток до різача з близьким кроком для покриття широкого спектру застосувань і потреб в механічній обробці.

Особливості:

- Висока продуктивність з відмінною евакуацією стружки і чудовим контролем стружки
- Висока подача на зуб до 2 мм (0,079 дюйма)
- Економічна вставка з 4-ма передовими:

Доступно в 2 розмірах для глибини різання:

- 1) 1,0 мм (0,039 дюйма) для TXN03, EXN03, HXN03
- 2) 1,5 мм (0,059) для TXN06, EXN06

- Конструкція з низькою ріжучою силою
- Вставка склоочисника для відмінної обробки поверхні при високій швидкості подачі, виключаючи операцію напівфабрикації 2 типів різців:
- Низький крок для високої продуктивності в стабільному стані
- Груба подача для малопотужних машин для зниження вібрації

Додатки:

- Фрезерування з високою подачею
- Занурення
- Розширений отвір
- Шліфування
- Буріння
- Фрезерування плеча
- Загальна обробка
- Обробка прес-форми

## 2. Фрези для обробки відступів

TURBO – односторонні пластини з 2 ріжучими кромками

Лінійка Turbo піднімає фрезерування уступів на максимально високий рівень. Ці універсальні фрези підходять для виконання більшості операцій чорнової, напівчистої і чистої обробки. Вони забезпечують тривалий термін служби і високу точність завдяки оптимізованим властивостям, які зменшують зусилля різання і теплоутворення.

Ці інструменти мають загартований корпус з покриттям і дві конфігурації з різним кроком, що дозволяє дотриматися суворих допусків і забезпечувати високу надійність при роботі з широким діапазоном матеріалів

заготовки. Загартований корпус з покриттям не тільки захищає інструмент від зносу, а й запобігає налипанню стружки на корпус.

Фрези Turbo мають високоточні гнізда, що мінімізує биття, підвищує стабільність обробки і збільшує термін служби інструменту за рахунок оптимального контакту корпусу і пластини. Вбудовані канали з отвором для подачі МОР забезпечують високу продуктивність і чудову видалення стружки.

Широкий діапазон пластин, твердих сплавів і радіусів кутів фрез Turbo підсилює адаптивність, точність і надійність. Пластини можуть бути встановлені під точним кутом  $90^\circ$  і забезпечують точність обробки стінок з кутом  $90^\circ$ , усуваючи необхідність повторних операцій.

Пластини кріпляться за допомогою міцного центрального затискного гвинта в напрямку зусиль різання. Поверхня wiper оптимізує шорсткість поверхні. Така універсальність дає фрез Turbo переваги при обробці пазів, похилому врізанні, фрезеруванні площини, обробці кишень, осьовому фрезеруванні і токарно-фрезерної обробки.

Типи кріплення лінійки Turbo: циліндричний, Weldon, Arbor і Combimaster™.

#### **4.1.2. Спіральні фрези**

Повний набір високопродуктивних спіральних фрез включає найсучасніші геометрії і сплави, що забезпечує високі швидкості подачі, велику глибину різання і інтенсивне знімання металу при профілюванні і контурної обробки.

В цілому дані інструменти використовують невелику кількість зубів і великий кут нахилу гвинтової канавки. Це забезпечує різуче зусилля, необхідне для чудовою шорсткості і плавного різання без вібрацій. Такий кут нахилу гвинтової канавки дозволяє фрезі амортизувати більшу частину кінцевий навантаження, і забезпечує плавний вхід в заготовку і вихід з неї.

**TURBO HELICAL - ОДНОСТОРОННІ ПЛАСТИНИ З 2 ріжучі кромки**

Лінійка високопродуктивних спіральних фрез Seco Turbo забезпечує більшу подачу, більшу глибину різання і високу швидкість зняття металу в процесі контурної обробки і профілювання. Ці фрези є найкращим варіантом для змішаного виробництва з усіма матеріалами заготовок.

#### **4.1.3. Торцеві фрези**

Seco пропонує безліч лінійок продукції для торцевого фрезерування, щоб задовольнити різноманітні виробничі потреби. Кожна лінійка має власні унікальні властивості і переваги, і всі вони призначені для скорочення тривалості циклу, швидкої установки пластин, підвищення швидкості зняття металу і стабільної якості.

1. QUATTROMILL - ОДНОСТОРОННІ ПЛАСТИНИ З 4 ріжучі кромки QuattroMill™ - це більше, ніж просто універсальна торцева фреза. Вона являє собою просте рішення з великою кількістю зубів на фрезу, що збільшує продуктивність, легкість у використанні, надійність і точність для широкого спектра застосувань і матеріалів.

QuattroMill використовує міцні квадратні пластини, які відповідають потребам найскладніших областей застосування, а міцний центральний гвинт з швидкою постановкою пластини спрощує заміну пластин. Корпус фрези має покриття і попередню загартування, а також великий простір під стружку при обробці сталі і неіржавіючої сталі. Позитивні передні кути / негативні радіальні кути максимально підвищують потужність верстата і продуктивність в стабільних і нестабільних умовах.

QuattroMill поставляється з широким діапазоном сплавів і типів геометрії, який охоплює всі види операцій. Передбачена можливість зміни з трьома різними кроками: великим, нормальним і малим, - а також з діаметрами в діапазоні 63 - 200 мм (2,48 - 7,87 дюйма).

#### **2. DOUBLE QUATTROMILL – 8-ріжучі двосторонні вставки**

На відміну від інших двосторонніх вставок, Double Quattromill™ представляє фактично менші витрати сили різання / машини і, таким чином, гарантують стійкість заготовки. Вставки містять високоокисні кути грабів, які не тільки позбавляють їх вільного різання, але також забезпечують більший термін служби інструментів та більшу універсальність для більш широкого спектру деталей матеріалів, включаючи сталь та чавун, а також 15-5 нержавіючої сталі та надплавких матеріалів, таких як титан та інконель.

45-градусний двоступінчастий кут Quattromill™ забезпечує комбінацію нижніх сил різання, меншого споживання електроенергії, більш високих швидкостей подачі та виняткового зменшення струсу. Хоча, з іншого боку, 68 градусів краще, коли потрібно затиснути до стіни чи деталі. Ріжучий інструмент є ідеальним балансом між версією 45 градусів та типовою плоскою плечовою мельницею з точки зору сил різання та глибини різання.

Для гарної частини поверхні обробки, подвійні Quattromill™ вставки також оснащені склоочисниками, а 45-ти ступінчасті кутові типи припадає в трьох геометріях. До них відносяться дуже різка геометрія для нержавіючих сталей, титані та інших липких матеріалів; універсальний тип для сталей для лиття чавуну і суперсплавів; і один для сталей, зокрема інструментальних сталей з P6 до P11, та чавуну.

Покращений контроль струсу та евакуації, а також триваліший зовнішній вигляд поверхні інструменту та довговічність виникають завдяки технології New Sectional технології Wave, що застосовуються до поверхонь флейти корпусу ріжучого тіла Double Quattromill™. Ці високо інженерні хвилі або алмазоподібні шаблони значно зменшують тертя між поверхнями флейт та чіпсами, що особливо корисно при фрезії липких матеріалів.

Для додаткової економічної ефективності дробарки Double Quattromill™ входять у фіксовану кишенькову або касетну версії для великих діаметрів від 200 мм до 315 мм. Крім того, касети є взаємозамінними, тому немає потреби придбати інше нове тіло, якщо ви вирішите перейти з 45-градусних вставок до 68-градусних.

#### Основні переваги

- Сила і довговічність
- Продуктивність / Вільне різання
- Економічна ефективність
- Довший інструмент життя
- Універсальність

#### 4.1.4. Дискові фрези

1. Дискова фреза: 335.19 - ШИРИНА РІЗАННЯ 4-12 ММ (0,157-0,500 дюйма)

- Економічне, точне і ефективне рішення для обробки на малу ширину
- Ширина різання 4-12 мм (0,157 - 0,500 дюйма)
- Діапазон діаметру фрези 40-250 мм (1,5 - 8 дюйма)
- Діапазон радіусів кута пластини 0,2-6 мм (0,008 - 0,236 дюйма)
- 4 ріжучі кромки

## 2. Дискова фреза: 335.18 - ШИРИНА РІЗАННЯ 8-20 ММ (0,315-0,750 дюйма)

- Економічне, універсальне і ефективне рішення для обробки на середню ширину
- Є фіксовані та регульовані виконання кишень
- Ширина різання 8-20 мм (0,315 - 0,750 дюйма)
- Діапазон діаметру фрези 32-315 мм (1,25 - 12 дюймів)
- Діапазон радіусів кута пластини 0,4-4 мм (0,016 - 0,16 дюйма)
- 4 ріжучі кромки

### **4.1.5. Фрези для підрізки торців**

Фрези Seco для підрізування торців є інструмент для фрезерування торців глухих і важкодоступних отворів. До їх основних переваг відносяться плавність різання, зниження зносу опор шпинделя за рахунок якісної балансування інструменту і надійний затиск з блокуванням по центру, - і все це в рамках одного економічного рішення.

### **4.1.6. Фасонні фрези**

Фасонні фрези Seco володіють такими ж високими ріжучими властивостями, як і стандартні фрези, забезпечуючи надійну продуктивність. Завдяки виконанням з подачею MOR і установочними кутами в 30, 45, 60 і 75 градусів, лінійка фасонних фрез може поставлятися з сполуками Combimaster™, Arbor і Seco-Capto.



## 4.2. Оснащення для кріплення інструменту

За способом кріплення на шпиндель верстата вся оснастка підрозділяється на кінцеву і насадну. У першому випадку інструмент затискають за допомогою цанги і патрона, у другому надягають на шпиндель за допомогою оправки. Оправка буває двох видів. Центрові мають конічний хвостовик, розміри якого повинні відповідати типу отвору шпинделя, яке у вертикально фрезерних верстатів може бути двох типів 7:24 і конус Морзе.

Останній в характеристиках позначається буквами  $M_k$  або  $M_T$  і номером. Так для машини з конусом Морзе  $M_{k3}$  підійде фреза торцева зі змінними пластинами (30 мм,  $M_{k3}$ ).

На такі оправки можна закріплювати кілька ріжучих інструментів, наприклад, циліндричних або фасонних, фіксуючи їх установочними кільцями.

Насадні фрези, яким не потрібен великий виліт (торцеві, дискові) закріплюють в кінцевих оправках. Їх надягають на буртик (3) зі шпонкою (2) і утримують гвинтом (4). Конічний хвостовик (1) поміщають в отвір шпинделя верстата.

Конічні кінцеві фрези закріплюють безпосередньо в шпинделі і затягують гвинтом. Якщо розмір хвостовика ріжучого інструменту не відповідає розмірам гнізда шпинделя, використовують перехідні втулки.

## **5. Призначення пристосувань**

Серед завдань, вирішення яких досягається застосуванням пристроїв, можна виділити три основних.

1. Встановлення заготовок на верстатах без вибірки. Застосування пристосувань для установки заготовок ліквідує трудомістку операцію розмітки, усуває вивертання оброблюваної деталі на верстаті, забезпечує можливість автоматичного отримання точності розмірів, а отже, підвищує точність обробки за рахунок усунення похибок, пов'язаних з розміткою і вивертанням.

2. Підвищення продуктивності праці. Мала трудомісткість (висока продуктивність) в рівній мірі залежить як від високо продуктивного обладнання, так і від високопродуктивного пристосування. Підвищити виробництво праці - це значить скоротити норму штучного часу на операцію.

Основний час  $t_0$  можна скоротити декількома способами:

1) збільшенням числа одночасно працюючих інструментів (при одночасній роботі декількох інструментів операція з багато-перехідних перетворюється в одно-перехідну і час на обробку деталі різко скорочується), для цього проектують багатошпиндельні свердлильні та фрезерні головки, багато різцеві державки для револьверних верстатів на кілька інструментів та ін. ;

2) одночасної обробкою кількох деталей, для цього проектуються багатомісні пристосування або пристосування для установки деталей пакетами;

3) підвищенням режимів різання. Проектування пристроїв, що підвищують жорсткість технологічної системи, дозволяє підвищити режими різання і застосувати багато інструментальну обробку.

Допоміжний час  $t_v$  можна скоротити, зменшивши час на установку і закріплення деталей або поєднавши допоміжний і основний час. При використанні пристосувань робітник може не перевіряти стан деталей при установці. Для скорочення часу закріплення деталі конструктори проектують швидкодіючі ручні, механізовані, автоматизовані і багаторазові затискні пристрої, поворотні пристосування, автоматичні завантажувальні пристрої,

виштовхувачі і ін. Проектуючи поворотні багатопозиційні багатомісні або безперервно діючі пристосування, враховують, що установка і зняття, закріплення і відкріплення деталей будуть виконувати під час роботи верстата, таким чином, час, що витрачається на ці прийоми, поєднується з основним часом.

Отже, оперативне час можна зменшити, застосувавши пристосування, що підвищують ступінь концентрації операцій механічної обробки.

Пристосування розширюють можливості інтенсифікації технологічних процесів, використовуючи паралельні і паралельно-послідовні схеми обробки поверхонь.

### 3. Розширення технологічних можливостей обладнання.

Заводи серійного виробництва оснащені в основному універсальними металорізальними верстатами. Кожен верстат призначений для виконання якоїсь певної роботи з заданою точністю. Для таких верстатів застосовують спеціальні пристосування, що розширюють технологічні можливості обладнання. За допомогою такого пристосування на верстаті виконують роботу, для здійснення якої необхідний верстат зовсім іншого типу.

Наприклад, за допомогою спеціальних пристосувань обробку шліфуванням, протягуванням і фрезеруванням можна виробляти на токарному верстаті, розточування і довбання - на фрезерному, обробку точних отворів - на свердлильних верстатах і ін.

Пристосування, що розширюють технологічні можливості верстатів, дозволяють здійснити: кріплення інструментів, рідко використовуваних при роботі на верстаті; додаткові взаємні переміщення інструмента і оброблюваної деталі; кріплення інструментів і оброблюваних деталей на не призначених для цієї мети поверхнях верстата; точна робота інструментом.

## **5.1. Класифікація пристроїв**

Класифікацію пристосувань проводять за кількома ознаками.

I. За цільовим призначенням пристосування ділять на п'ять груп.

Верстатні пристосування - використовують для установки і закріплення оброблюваних заготовок на верстатах, Залежно від виду механічної обробки розрізняють свердлильні, токарні, фрезерні, розточувальні, шліфувальні та інші верстатні пристосування. Вони є найчисленнішою групою і складають 70 - 80% загального числа пристосувань. Пристосування для кріплення робочих інструментів - характеризуються великим числом нормалізованих конструкцій, що пояснюється нормалізацією і стандартизацією самих робочих інструментів. Пристосування першої і другої груп є складовими частинами технологічної системи.

Складальні пристосування - використовують для з'єднання деталей і складальних одиниць, кріплення базових деталей (складальних одиниць) виробу, що збирається, попереднього деформування збираються пружних елементів (пружин, ресор і т.д.), виконання складальних операцій, що вимагають докладання великих сил (клепка, вальцювання, напресовування і т.д.) і ін.

Контрольні пристосування - застосовують для контролю заготовок, проміжного і остаточного контролю оброблюваних деталей, а також для перевірки зібраних елементів і машин. Пристосування для захоплення, переміщення і перевертання оброблюваних заготовок.

II. За ступенем спеціалізації пристосування ділять на універсальні, спеціалізовані і спеціальні.

1. Універсальні пристосування (УП) використовують для розширення технологічних можливостей верстатів або для обслуговування пристосувань. До них відносяться: універсальні, поворотні, ділильні столи, головки, універсальні приводи, пристрої для механізації затиску в пристроях і т.п.

2. Універсальні безналагоджувальні пристосування (УБП) використовують для закріплення заготовок широкої номенклатури і різної

конфігурації. К. них відносяться: універсальні патрони з нероз'ємними кулачками, універсальні фрезерні та слюсарні лещата.

3. Універсально-налагоджувальні пристосування (УНП) використовують для закріплення заготовок різної конфігурації. До них відносяться: універсальні патрони зі змінними кулачками, універсальні лещата зі змінними губками тощо.

4. Спеціалізовані безналагоджувальні пристосування (СБП) використовують для закріплення заготовок, близьких за конструктивно-технологічним ознаками, з однаковими базовими поверхнями, що вимагають однакової обробки. При здійсненні однотипних операцій необхідно регулювати елементи. До них відносяться: пристосування для групової обробки деталей типу валиків, втулок, фланців, дисків, кронштейнів, корпусних деталей і т.п.

5. Спеціалізовані налагоджувальні пристосування (СНП) використовують для закріплення заготовок, близьких за конструктивно-технологічним ознаками, об'єднаних спільністю базових поверхонь і характером обробки і вимагають для виконання однотипних операцій заміни спеціальної наладки. Пристосування СНП аналогічні СБП, але можливості їх ширше.

6. Універсально-збірні пристосування (УЗП) використовують для закріплення заготовок широкої номенклатури при виконанні різних операцій. Але для кожної операції збирають спеціальне пристосування з заздалегідь виготовлених стандартних деталей, яке після використання розбирають і багаторазово застосовують в наступних схем.

7. Спеціальні пристосування (СП) використовують для виконання певної операції при обробці конкретної деталі, вони є одноцільові. При зміні об'єкта виробництва такі пристосування, як правило, доводиться списувати незалежно від ступеня їх фізичного зносу. Ці пристосування трудомісткі і

дороги у виготовленні, і їх виготовляють в одиничному виробництві, а застосовують головним чином у велико-серійному і масовому виробництвах.

У будь-якому пристосуванні можна виділити окремі групи деталей і механізми, що мають однакове призначення. Їх прийнято називати елементами. Під елементом пристосування розуміють деталь або елемент, що виконує певну функцію.

III. За функціональним призначенням елементи пристосувань ділять на: установчі; затискні; силові приводи; елементи для визначення положення і напрямки інструментів; корпусу; допоміжні механізми (ділильні, фіксують і т.д.); допоміжні і кріпильні деталі (рукоятки, сухарі, шпонки і т.п.).

## **5.2. Пристосування для фрезерних верстатів**

На фрезерних верстатах широко застосовують стандартизовані пристосування: машинні лещата (з різними зажимами і приводами) для обробки різних за формою і розмірами заготовок; ділильні головки і поворотні столи.

Особливістю пристосувань є висока жорсткість корпусів і конструкції в цілому. Це обумовлено тим, що різання - переривчастий процес, а також тим, що більш висока жорсткість дає змогу краще гасити вібрації.

Застосовують також пристосування для безперервного фрезерування і спеціальні багатомісні з паралельної, послідовної і паралельно-послідовної схемами обробки. Пристосування часто виконують переналагоджувані, зі змінними накладками. Як для звичайних верстатів, так і для верстатів з ЧПУ також широко застосовують стандартизовані системи. Ділильні головки використовують для установки і періодичного повороту невеликих заготовок. Заготовки встановлюють в центрах, цангових або кулачкових патронах, що закріплюються на шпинделі головки. Головки виконують з горизонтальної або вертикальної осями обертання.

Поворотні столи застосовують для безперервного або позиційного фрезерування плоских поверхонь.

### **5.3. Етапи проектування верстатного пристосування**

В процесі проектування верстатного пристосування необхідно дотримуватися правила вибору баз, стабільного взаємного положення заготовки та різального інструменту при обробці, зручну установку, контроль і зняття деталі, вільний видалення стружки, зручність управління верстатом і пристосуванням, а також умови, що забезпечують безпеку роботи і обслуговування даного пристосування.

При проектуванні верстатного пристосування слід провести розрахунок похибки базування в залежності від способу установки заготовки за загально прийнятими формулами.

При розробці конструкції верстатного пристосування необхідно прагнути до зменшення часу на установку і зняття оброблюваної деталі, до підвищення режимів різання і до одночасного оброблення декількох заготовок в одній операції.

На початку проектування пристосування необхідно розробити принципову схему базування і закріплення деталі, визначити число заготовок, що підлягають одночасної обробки, а потім зробити загальне компоновання пристосування і всіх його елементів.

Вихідними даними для проектування верстатного пристосування є:

1. робоче креслення заготовки і готової деталі;
2. технологічний процес на попередню і виконувану операції з технологічними ескізами;
3. річний обсяг випуску деталей;
4. альбоми типових конструкцій пристосувань;



5. паспортні дані верстатів (розмірів столу, шпинделів, міжцентровою відстаней, розмірів і розташування кріпильних пазів і отворів і т.д.).

Залежно від обсягу випуску виробів вибирають конструкцію і привід затиску заготовки, а також швидко зношуються пристосування. Необхідно визначити тип і розмір настановних елементів, їх число і взаємне положення і пов'язати це з необхідною точністю обробки заготовки на даній операції, а також розрахувати силу затиску і на її підставі вибрати тип затискного пристрою.

При виборі основних і допоміжних елементів пристосування слід використовувати стандартні конструкції виробів. Розробку спеціального верстатного пристосування для обробки заготовок проводять за таким порядком:

1. вивчають робочі креслення заготовки і готової деталі;
2. вивчають принципову схему базування і закріплення заготовки;
3. вивчають операційний технологічний ескіз механічної обробки заготовки;
4. конструктивно оформляють елементи пристосування і його загальне компонування з необхідними проекціями, розрізами і окремими видами;
5. розробляють технічні вимоги на виготовлення верстатного пристосування;
6. складають специфікацію на спроектоване пристосування згідно складального креслення і привласнюють шифри на спеціальні розроблювані деталі пристосування.

Розробку загального вигляду (складальної одиниці) пристосування починають з нанесення на лист обраного формату контурів оброблюваної деталі в необхідній кількості проекцій на такій відстані, щоб залишалася

достатньо місця для розміщення на проекціях всіх елементів (деталей) пристосування, розмірів і позицій.

При проектуванні пристосувань для проміжних операцій викреслюють ті контури деталі, які виконували на попередній операції, в установленому масштабі, а для першої операції - контури робочого креслення заготовки.

Загальні види проекцій пристосування слід викреслювати в масштабі 1: 1, за винятком дуже дрібних або великих конструкцій пристосувань.

В процесі проектування пристосування спочатку викреслюють установчі елементи пристосування, потім елементи затискних і допоміжних пристроїв і визначають контури пристосування. На закінчення встановлюють форму і розміри пристосування.

На складальному кресленні пристосування вказують необхідні розміри, які забезпечують точність розташування елементів пристосування, довідкові розміри (монтажні, установчі та ін.). На вільному полі креслення над штампом основного напису розміщують технічні вимоги на виготовлення верстатного пристосування.

На складальному кресленні пристосування всі складові частини (складальні одиниці і деталі) нумерують номери позицій розташовують паралельно основному написі креслення поза контуром зображення і групують в колонку або рядок по можливості на одній лінії. На аркуші складального креслення пристосування допускається поміщати в правому верхньому куті операційний ескіз.

В процесі проектування верстатного пристосування необхідно виконувати вимоги Єдиної системи конструкторської документації (ЕСКД) і державних стандартів на всі елементи проектного пристосування.

При проектуванні пристосувань необхідно використовувати стандартизовані і уніфіковані елементи пристосувань, що дозволить

скоротити цикл підготовки виробництва і знизити собівартість виготовлення оснастки на 20 - 30%. Після розробки складального креслення пристосування проводиться деталізація. [17]

## **6. Маніпуляційні пристрої роботів**

На сьогодні основним типом маніпуляційних пристроїв роботів служать механічні маніпулятори. Вони являють собою розімкнену кінематичну ланцюг, складену з кінематичних пар, що мають одну, рідше дві ступеня рухливості з поступальним або кутовим переміщенням робочого органу,

розташованого на кінці маніпулятора, і приводів, найчастіше роздільних для кожного ступеня рухливості.

Ступеня рухливості маніпулятора діляться на переносні і орієнтують. Переносні ступеня рухливості служать для переміщення об'єкта маніпулювання в межах робочої зони маніпулятора, а орієнтують - для його орієнтації.

Теоретично мінімально необхідну кількість переносних ступенів рухливості для переміщення об'єкта маніпулювання в будь-яку точку абсолютно вільною робочої зони дорівнює трьом. Однак для розширення маніпуляційних можливостей і забезпечення необхідних значень, кінематичних і динамічних параметрів маніпулятора (реалізації більш складних траєкторій руху, наприклад, для обходу перешкод, підвищення швидкодії і т. П.) Маніпулятори зазвичай постачають кількома надлишковими переносними ступенями рухливості, хоча це, зрозуміло, істотно ускладнює і підвищує вартість робота.

Максимально необхідну кількість орієнтують ступенів рухливості дорівнює трьом. Зазвичай вони реалізуються кінематичними парами з кутовим переміщенням, що забезпечують поворот робочого органу маніпулятора щодо його поздовжньої і двох інших взаємно перпендикулярних осей. Приводи маніпулятора, які, як уже зазначалося, можуть бути електромеханічними, гідравлічними і пневматичними, зазвичай розміщують безпосередньо в ланках маніпулятора або виносять на його підставу з передачею руху на відповідну ланку через передавальні механізми різного типу.

Місце розміщення приводів в значній мірі визначає конструкцію маніпулятора. Розміщення приводів безпосередньо в ланках маніпулятора істотно спрощує кінематичні зв'язку, що також сприяє підвищенню точності. Недоліком такого компонування є збільшення маси рухомої частини

маніпулятора. Останнє веде до зниження його вантажопідйомності і динамічних параметрів. У зв'язку з цим зазвичай, оптимізуючи конструкцію маніпуляторів, вдаються до комбінації цих двох варіантів розміщення приводів для різних ступенів рухливості. Для зниження потужності приводів широко використовують різноманітні пристрої врівноваження.

На рис. 6.1-6.4 показані конструкції маніпуляторів з трьома переносними ступенями рухливості в різних системах координат і їхні робочі зони. Маніпулятори, що працюють в прямокутній системі координат (рис. 6.1), мають робочу зону в вигляді паралелепіпеда.

Тут здійснюються тільки поступальні переміщення, і тому така система координат найбільш зручна для виконання прямолінійних рухів. Крім того, вона максимально спрощує програмування робота, так як воно зазвичай виконується саме в прямокутній системі координат, і, отже, в цьому випадку не потрібно перерахування програм з однієї системи координат в іншу.

Рис. 6.1 Маніпулятор з прямокутною системою координат

У маніпуляторах, що працюють в циліндричній системі координат (рис. 6.2), поряд з поступальними переміщеннями проводиться одне кутове переміщення (по колу). Відповідно, робоча зона має форму циліндра.

Рис. 6.2 Маніпулятор з циліндричною системою координат

У разі сферичної системи координат (рис. 6.3) здійснюються уже два кутових переміщення і робочій зоні властива форма кулі. Роботи з такою системою координат, як правило, складніше, ніж з циліндричною системою, проте компактніше.

Рис. 6.3 Маніпулятор зі сферичною системою координат

Наведений на рис. 6.4 маніпулятор з кутовою (ангулярною) системою координат виробляє тільки кутові переміщення, тобто, всі його ланки являють собою шарніри. (У зв'язку з цим часто такі маніпулятори називають

ще шарнірними і антропоморфними.) Роботи з маніпуляторами такого типу завдяки їх можливості «складатися», практично не виступаючи за габарит підстави, мають найбільшу компактністю, хоча і найбільш складні в управлінні.

Рис. 6.4 Маніпулятор з кутовий системою координат

Представлені вище маніпулятори мають усього по три переносних ступеня рухливості. Однак оскільки маніпулятори реальних робіт в більшості випадків містять більшу кількість ланок і, відповідно, мають надмірністю по числу ступенів рухливості. У них найчастіше реалізуються різні комбінації розглянутих вище основних типів систем координат з різним співвідношенням між числом ступенів рухливості.

### **6.1. Робочі органи маніпуляторів**

Робочі органи маніпуляторів служать для безпосередньої взаємодії з об'єктами зовнішнього середовища і діляться на захватні пристрої і спеціальний інструмент. І ті, і інші робочі органи можуть бути забезпечені засобами відчутності (сенсорними пристроями). Захватний пристрій призначений для того, щоб взяти об'єкт, утримувати його в процесі маніпулювання і відпустити після закінчення цього процесу. Існують наступні основні типи захватних пристроїв: механічні пристрої - тужавіння, пневматичні і електромагнітні.

Крім того, в зв'язку з великою різноманітністю об'єктів маніпулювання розроблено велику кількість різних комбінацій цих типів захватних пристроїв і безліч спеціальних захватних пристроїв, заснованих на різних оригінальних принципах дії (наприклад, клейкі захватні пристрої, наколюють, що використовують аеродинамічну підйомну силу). Захоплення роботом різних предметів виконує пристрій, що одержав назву захват. Захвати досить складні за своєю конструкцією, тому приблизно 5-10% вартості робота складають витрати на ці пристрої.

До них ставляться такі вимоги: висока надійність захоплення, утримання об'єкта маніпулювання, стабільність базування, легкість і швидкість заміни, універсальність, малі маса і габарити. Захвати роботів класифікують з кінематики захоплення об'єкта, типу пальців і приводу, характеру контакту з поверхнею, по числу пальців та ін. Кінематика захоплення предмета схопив багато в чому визначається його формою. Різноманіття предметів породжує велику кількість різних конструктивних рішень захватних пристроїв. У найпростішому випадку, об'єкти маніпулювання можна розділити на плоскі (листоє скло, шайби), тіла обертання (вали, фланці, циліндри, пляшки, конуси), форми паралелепіпеда (коробки, контейнери, телевізори), складної конфігурації (телевізійні трубки, лобові і задні скла автомобіля, штамповані деталі) і змінною форми (тканини, шланги, дроти, гумові прокладки).

При всьому різноманітті об'єктів маніпулювання найпростіший двохпальцевий захват утримує майже 50% з них, трьохпальцевий - 90%, чотирьохпальцевий - 99%. Процес складання в багатьох галузях промисловості характеризується тим, що форму циліндричного тіла обертання і прямокутного паралелепіпеда має більшість деталей. Перші становлять приблизно 60%, а другі - 30%. Конструкцію захвату визначають і розміри деталей. Так, якщо вписати деталь в деяку окружність, то для роботи з предметами, що відрізняються діаметрами не більше ніж на 30%,

доцільно застосовувати двохпальцеві кліщового типу з кутовим переміщенням пальців один щодо одного.

Якщо ж діаметри деталей перевищують цю цифру, але не більше ніж в два рази, бажано вибирати також двохпальцевий захват, проте вже з поступальним переміщенням пальців. При значній відмінності діаметрів описаних кіл використовуються трьох- або чотирьохпальцеві. За геометрії контакту з предметом тужавіння можуть бути з одностороннім, двох-, трьох- і багатостороннім дією. До односторонніх захватів (вони вступають в контакт тільки з однією поверхнею предмета) відносяться конструкції типу вакуумних або магнітних присосків, звичайний гак, який використовується для підйому вантажів, липкі, вібруючі і голкові стрічки.

В захват двосторонньої дії є два жорстких притиску. Захоплення поверхонь об'єкта маніпулювання в цьому випадку може проходити в двох точках (рис. 6.5, а), по двох лініях (рис. 6.5, б), по двох поверхнях (рис. 6.5, в). Вибір характеру зближення пальців з об'єктом, крім того, залежить від стану поверхні, міцності шорсткості предмета. Для надійного утримання предмета, яке відбувається за рахунок сил сухого тертя, в більшості випадків досить забезпечення двостороннього контакту.

Рис 6.5. Схеми захватів двосторонньої дії

Рис 6.6. Захват двосторонньої дії

(в - типу) з пневматичним приводом захвати тристоронньої дії (рис. 6.7) надають системі велику універсальність, однак при цьому істотно ускладнюється їх конструкція, збільшується маса пальців і приводів, здійснюється обхват об'єкта з усіх боків, зростає надійність утримання предмета за рахунок збільшення числа точок контакту і сил тертя.



Захват може мати трубчасті пальці, які розміщуються під певним кутом один щодо одного і переміщаються в радіальному напрямку. Останнє дозволяє захоплювати циліндричні тіла не тільки з зовнішньої, але і з внутрішньої сторони. При перенесенні прямокутних деталей з гранями два пальця захвата повинні прилягати до однієї, а третій - до протилежної грані деталі.

Рис.6.7. Схеми захвату тристороннього дії

Рис.6.8 Універсальний захват тристороннього дії

У зв'язку з простотою що здійснюються схопив рухів ( «затиск - розтиск») в них широко використовуються нерегульовані пневматичні та електричні приводи, значно рідше - гідравлічні. На рис. 6.9 показано пристрій пневматичного захвату з п'ятьма гнучкими надувними пальцями. За рахунок різної жорсткості пальців по перетину при подачі в них стисненого повітря вони згинаються, захоплюючи знаходяться в їх зоні предмети.

Рис. 6.9. Пневматичний захват з п'ятьма гнучкими надувними пальцями: а - зовнішній вигляд; б - розрізи пальця; 1 тонкостінна частина; 2 гофри; 3 - товстостінна частина; 4 - підведення повітря; 5 - деформація осі пальця при подачі стисненого повітря. Механічні тужавіння застосовуються для утримання предметів, що мають безперервні поверхні, центральне положення центра ваги, правильну геометричну форму.

Для предметів без специфічних контурів, зі складними приєднувальними поверхнями, нецентральним розташуванням центру тяжіння використовують механічні тужавіння з кінематичним замиканням охоплюють поверхні. [18]

## **7. Моделювання алгоритму обробки деталі в програмному забезпеченні Heidenhain**

### ***Креслення деталі***

#### ***Програма***

```
0 BEGIN PGM DIP2 MM
1 BLK FORM 0.1 Z X+0 Y+0 Z-32
2 BLK FORM 0.2 X+220 Y+220 Z+0
3 TOOL CALL 124 Z S1500 F200
4 L X+250 Y+250 Z+150 R0 FMAX M3
5 L Z-32 R0 FMAX
6 APPR LCT X+190 Y+220 Z-35 R5 RL F200
7 L X+220 Y+130
8 L X+220 Y+20 RL F AUTO
9 L X+200 Y+0 RL F AUTO
```

```

10 DEP LCT X+180 Y-120 R5 FMAX
11 L X+250 Y+250 Z+150 R0 FMAX
12 TOOL CALL 233 Z S1500 F200
13 L X+250 Y+250 Z+150 R0 FMAX M3
14 CYCL DEF 203 UNIVERS. SWERLENIE ~
    Q200=+2 ;BEZOPASN.RASSTOYANIE ~
    Q201=-32 ;GLUBINA ~
    Q206=+150 ;PODACHA NA WREZANJE ~
    Q202=+5 ;GLUBINA WREZANJA ~
    Q210=+0 ;WYDER. WREMENI WWER. ~
    Q203=+0 ;KOORD. POVERHNOСТИ ~
    Q204=+2 ;2-YE BEZOP.RASSTOJ. ~
    Q212=+0 ;SJOM MATERIALA ~

    Q213=+0 ;KOL.OPER.LOMKI STRU. ~
    Q205=+0 ;MIN.GLUBINA WREZANJA ~
    Q211=+1 ;WYDER.WREMENI WNIZU ~
    Q208= MAX ;PODACHA WYCHODA ~
    Q256=+1 ;WYCHOD PRI LOMANII ~
    Q395=+1 ;DEPTH REFERENCE
15 CYCL DEF 221 RIADY IZ OTWIERSTIJ ~
    Q225=+130 ;1-JA KOORD.NACH.TOCH ~
    Q226=+20 ;2-JA KOORD.NACH.TOCH ~
    Q237=+45 ;SCHAG PO 1-OJ OSI ~
    Q238=+60 ;SCHAG PO 2-OJ OSI ~
    Q242=+2 ;KOLICH.RIADOW ~
    Q243=+4 ;KOLICH.STROK ~
    Q224=+0 ;UGOL POWOROTA ~
    Q200=+2 ;BEZOPASN.RASSTOYANIE ~
    Q203=+0 ;KOORD. POVERHNOСТИ ~
    Q204=+50 ;2-YE BEZOP.RASSTOJ. ~
    Q301=+1 ;DWISH.NA BEZ.WYSOTU
16 L X+250 Y+250 Z+150 R0 FMAX
17 TOOL CALL 237 Z S1500 F200
18 CYCL DEF 200 SWERLENIJE ~
    Q200=+2 ;BEZOPASN.RASSTOYANIE ~
    Q201=-2.5 ;GLUBINA ~
    Q206=+150 ;PODACHA NA WREZANJE ~
    Q202=+2.5 ;GLUBINA WREZANJA ~
    Q210=+0 ;WYDER. WREMENI WWER. ~
    Q203=+0 ;KOORD. POVERHNOСТИ ~
    Q204=+50 ;2-YE BEZOP.RASSTOJ. ~
    Q211=+0 ;WYDER.WREMENI WNIZU ~
    Q395=+0 ;DEPTH REFERENCE
19 CYCL DEF 221 RIADY IZ OTWIERSTIJ ~
    Q225=+130 ;1-JA KOORD.NACH.TOCH ~
    Q226=+20 ;2-JA KOORD.NACH.TOCH ~
    Q237=+45 ;SCHAG PO 1-OJ OSI ~
    Q238=+60 ;SCHAG PO 2-OJ OSI ~
    Q242=+2 ;KOLICH.RIADOW ~
    Q243=+4 ;KOLICH.STROK ~
    Q224=+0 ;UGOL POWOROTA ~
    Q200=+2 ;BEZOPASN.RASSTOYANIE ~
    Q203=+0 ;KOORD. POVERHNOСТИ ~
    Q204=+50 ;2-YE BEZOP.RASSTOJ. ~
    Q301=+1 ;DWISH.NA BEZ.WYSOTU
20 L X+250 Y+250 Z+150 R0 FMAX
21 TOOL CALL 266 Z S60 F105
22 CYCL DEF 209 NAR.WN.REZBY/LOM.ST. ~
    Q200=+2 ;BEZOPASN.RASSTOYANIE ~

```

```

Q201=-32      ;GLUBINA REZBY ~
Q239=+1.75    ;SCHAG REZBY ~
Q203=+0       ;KOORD. POVERHNOSTI ~
Q204=+50      ;2-YE BEZOP.RASSTOJ. ~
Q257=+0       ;GL.SWERL.PRI LOMANII ~
Q256=+1       ;WYCHOD PRI LOMANII ~
Q336=+0       ;UGOL SCHPINDEL ~
Q403=+1       ;RPM FACTOR
23 CYCL DEF 221 RIADY IZ OTWIERSTIJ ~
  Q225=+130    ;1-JA KOORD.NACH.TOCH ~
  Q226=+20     ;2-JA KOORD.NACH.TOCH ~
  Q237=+45     ;SCHAG PO 1-OJ OSI ~
  Q238=+60     ;SCHAG PO 2-OJ OSI ~
  Q242=+2      ;KOLICH.RIADOW ~
  Q243=+4      ;KOLICH.STROK ~
  Q224=+0      ;UGOL POWOROTA ~
  Q200=+2      ;BEZOPASN.RASSTOYANIE ~
  Q203=+0      ;KOORD. POVERHNOSTI ~
  Q204=+50     ;2-YE BEZOP.RASSTOJ. ~
  Q301=+1      ;DWISH.NA BEZ.WYSOTU
24 L X+250 Y+250 Z+150 R0 FMAX
25 TOOL CALL 118 Z S1500 F200
26 CYCL DEF 253 FREZEROWANIE PAZOW ~
  Q215=+1      ;OBRABOTKA ~
  Q218=+100    ;DLINA PAZA ~
  Q219=+40     ;SCHIRINA KANAWKI ~
  Q368=+0      ;PRIPUSK NA STORONU ~
  Q374=+90     ;UGOL POWOROTA ~
  Q367=+2      ;POLOSHENJE PAZA ~
  Q207=+500    ;PODACHA FREZER. ~
  Q351=+1      ;TIP FREZEROWANIA ~
  Q201=-12     ;GLUBINA ~
  Q202=+5      ;GLUBINA WREZANJA ~
  Q369=+0      ;PRIPUSK NA GLUBINU ~
  Q206=+150    ;PODACHA NA WREZANJE ~
  Q338=+0      ;WREZ. CHISTOW.OBR. ~
  Q200=+2      ;BEZOPASN.RASSTOYANIE ~
  Q203=+0      ;KOORD. POVERHNOSTI ~
  Q204=+50     ;2-YE BEZOP.RASSTOJ. ~
  Q366=+2      ;TIP VREZANIYA ~
  Q385=+500    ;PODACHA CHIST. OBRABOTKI ~
  Q439=+3      ;FEED RATE REFERENCE
27 L X+30 Y+110 Z+50 R0 FMAX M3
28 CYCL CALL
29 L X+250 Y+250 Z+150 R0 FMAX
30 TOOL CALL 100 Z S1500 F200
31 CYCL DEF 253 FREZEROWANIE PAZOW ~
  Q215=+1      ;OBRABOTKA ~
  Q218=+24     ;DLINA PAZA ~
  Q219=+10     ;SCHIRINA KANAWKI ~
  Q368=+0      ;PRIPUSK NA STORONU ~
  Q374=+90     ;UGOL POWOROTA ~
  Q367=+2      ;POLOSHENJE PAZA ~
  Q207=+500    ;PODACHA FREZER. ~
  Q351=+1      ;TIP FREZEROWANIA ~
  Q201=-8      ;GLUBINA ~
  Q202=+2      ;GLUBINA WREZANJA ~
  Q369=+0      ;PRIPUSK NA GLUBINU ~
  Q206=+150    ;PODACHA NA WREZANJE ~
  Q338=+0      ;WREZ. CHISTOW.OBR. ~

```

```
Q200=+2      ;BEZOPASN.RASSTOYANIE ~
Q203=+0      ;KOORD. POVERHNOSTI ~
Q204=+50     ;2-YE BEZOP.RASSTOJ. ~
Q366=+2      ;TIP VREZANIYA ~
Q385=+500    ;PODACHA CHIST. OBRABOTKI ~
Q439=+3      ;FEED RATE REFERENCE
32 L  X+80  Y+130  Z+50  R0  FMAX
33 CYCL CALL
34 L  X+250  Y+250  Z+150  R0  FMAX
35 END PGM DIP2 MM
```

***Обработана деталь***

## Висновок

В даному курсовому проекті розширили технологічні можливості верстата шляхом конструювання нової компоновки шпиндельного вузла, де в передній опорі встановлено радіально-упорні підшипники у виконанні дуплекс тандем, які повинні сприймати радіальне навантаження, що забезпечує зменшення втрат на холості ходи та зменшення теплових деформацій. Це дало змогу збільшити швидкохідність шпинделя, а також оброблювати на верстаті більшу гаму матеріалів. В задній опорі встановлено радіально-упорні підшипники виконанні дуплекс тандем, що дало змогу у верстаті зменшити похибки, тому, як наслідок, можливо оброблювати на деталі з високим класом точності.

Статичний розрахунок шпиндель вузла показав в цілому задовільні показники працездатності. Але демпфіруючі здатності є незадовільними. Власна частота шпинделя  $\omega_c$  є задовільною, що видно з перевірки.

Було проведено перевірни розрахунки валів та зубчастих коліс за вимогами "Опору матеріалів" та "Деталей машин". В проекті розглянули питання охорони праці та безпека в навколишньому середовищі при роботі з ЧПК.

Верстат оснащений додатковими пристосуваннями для закріплення

деталей та маніпулятором, що розширює технологічні можливості верстата, забезпечує одночасну обробку декількох деталей, збільшує число одночасно працюючих інструментів, підвищує режими різання, що впливає на загальну продуктивність праці.